

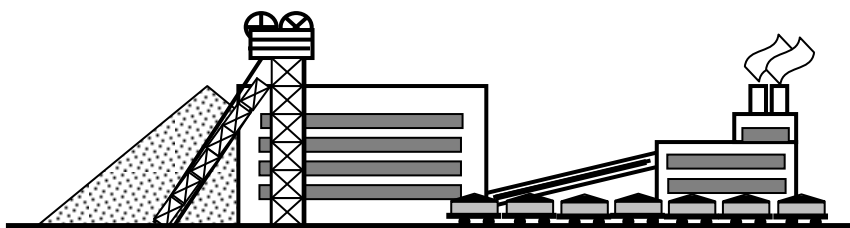
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДОНЕЦЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ НАУКОВОГО ТОВАРИСТВА ІМ. ШЕВЧЕНКА

Смирнов В.О., Білецький В.С.

ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА

Навчальний посібник

За редакцією В.С. Білецького



Донецьк-2005

УДК 622.7

Смирнов В.О., Білецький В.С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Навчальний посібник. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 148 с.

ISBN 966-7804-90-9

Розглянуті питання виникнення корисних копалин. Викладені фізичні та хімічні основи і технологія процесів збагачення корисних копалин, агломерації і брикетування продуктів збагачення, коксохімічного і металургійного виробництва. Розглянуті принципові конструкції технологічного обладнання і його принцип дії. Викладені основні положення охорони навколишнього середовища.

Посібник призначено для студентів вузів і технікумів.

Табл. 7, іл. 56, бібл. 12.

УДК 622.7

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор В.І.Саранчук,

д-р техн. наук, професор В.Ф.Пожидаєв

к-т техн. наук, доцент Ю.Л.Папушин

Розглянуто на засіданні кафедри “Збагачення корисних копалин”.

Протокол № 4 від 16.04.2005 р.

Затверджено на засіданні Навчально-видавничої ради ДонНТУ.

Протокол № 2 від 28.04.2005 р.

ISBN 966-7804-90-9

© Смирнов В.О., Білецький В.С.

© Макет “Східний видавничий дім”

Зміст

Передмова	5
1 Корисні копалини	7
1.1 Корисні копалини і продукти збагачення.....	7
1.2 Властивості гірських порід та мінералів, що використовуються при видобутку і переробці корисних копалин	11
2 Вугілля	21
2.1 Походження вугілля.....	21
2.2 Властивості вугілля.....	23
2.3 Показники якості вугілля	29
2.4 Класифікація вугілля	30
3 Залізні руди	35
4 Гірничо-промисловість	39
4.1 Галузі гірничої промисловості.....	39
4.2 Способи розробки родовищ корисних копалин.....	40
4.2.1 Підземний спосіб розробки родовищ корисних копалин	40
4.2.2 Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин	42
4.2.3 Свердловинний спосіб розробки родовищ корисних копалин	43
4.2.4 Підземне вилуговування	44
4.2.5 Підземна виплавка	46
4.2.6 Підземна газифікація і сублімація	47
4.2.7 Підземне розчинення.....	50
4.2.8 Морський спосіб розробки родовищ корисних копалин	51
5 Первинна переробка корисних копалин	55
5.1 Збагачення корисних копалин	55
5.1.1 Технологічні показники збагачення	56
5.1.2 Підготовчі процеси	58
5.1.3 Збагачувальні процеси.....	64
5.1.4 Заклучні процеси.....	83
5.2 Брикетування	87
5.3 Обкатування.....	91
5.4 Агломерація	94
6 Коксохімічне виробництво	98
6.1 Коксування вугілля	98
6.2 Напівкоксування	101
6.3 Деструктивна гідрогенізація	101
7 Металургійне виробництво	103
7.1 Доменне виробництво.....	103
7.2 Сталеплавильне виробництво	107
7.2.1 Киснево-конверторний спосіб	108
7.2.2 Мартенівський спосіб.....	110
7.2.3 Електрометалургія	113
7.3 Прокатне виробництво	115

8	Машинобудування	117
8.1	Розробка технологічного процесу	117
8.2	Виготовлення заготовок	118
8.2.1	Ливарне виробництво	118
8.2.2	Ковальсько-штампувальне виробництво	120
8.2.3	Зварювальне виробництво	122
8.3	Обробка заготовок	126
8.3.1	Обробка металу різанням	126
8.3.2	Металорізальні верстати	127
8.4	Складання машин	131
8.4.1	Сутність складання	131
8.4.2	Види поєднань	131
8.4.3	Види і способи складання машин	132
9	Паливно-енергетичний комплекс	134
9.1	Паливна промисловість	134
9.2	Електроенергетика	136
10	Охорона навколишнього середовища	139
10.1	Вплив людини на природу	139
10.2	Заходи щодо охорони навколишнього середовища	142
10.3	Очищення стічних вод	143
10.4	Рекультивація земель, зайнятих відходами	145
	Список рекомендованої літератури	147

ПЕРЕДМОВА

Фізичні та хімічні процеси, їх поєднання з біологічними процесами визначають основу сучасних технологій практично у всіх галузях промисловості. Тому їх вивчення як об'єктів, з якими, так чи інакше, в своїй діяльності буде мати справу майбутній фахівець, є вельми важливою складовою у підготовці бакалаврів та магістрів.

Мета викладання дисципліни “Фізичні та хімічні основи галузевого виробництва” у широкому її розумінні полягає у освоєнні студентами основних фізичних та хімічних законів та властивостей, які визначають розвиток сучасної *видобувної та переробної промисловості, металургії, машинобудування, енергетики*. Звичайно, у залежності від спеціалізації вищого навчального закладу акценти можуть ставитися на тих, чи інших галузях промисловості.

У цьому курсі ми подаємо основні дані про власне *корисні копалини*, зокрема, вугілля і залізні руди, на які багата Україна, зосереджуємо увагу на фізичних і хімічних процесах *видобутку та первинної переробки* мінеральної сировини, *коксохімічному та металургійному виробництвах, охороні навколишнього середовища*.

Всі зазначені нами галузі знань глибоко вивчають спеціальні науки. Наприклад, закономірності утворення і поширення корисних копалин – *геологія*, яка у свою чергу поділяється на ряд дисциплін – *мінералогію, петрографію, тектоніку, історичну геологію, регіональну геологію, літологію, стратиграфію*. Прикладне значення мають *гідрогеологія, інженерна геологія та геологія корисних копалин*.

Гірництво включає комплекс наук про освоєння ресурсів надр і первинну переробку корисних копалин. Це система наукових знань про умови залягання родовищ корисних копалин і фізичні явища, що відбуваються в товщі гірських порід при створенні гірничих виробок; про способи і засоби розвідки, видобування і збагачування корисних копалин; про організацію виробництва, яка забезпечує безпечну й економічну розробку родовищ.

Мета гірничих наук – розкриття закономірностей і причинно-наслідкових зв'язків технологій і довкілля, а також створення основ для корінного вдосконалення техніки, технології, організації і економіки гірничого виробництва на базі фундаментальних наук. Об'єкти вивчення гірничих наук: родовища твердих, рідких і газоподібних корисних копалин, гірські породи, що вміщують ці родовища; методи і техніка їх розвідки; технологія і техніка видобутку, збагачення і первинної переробки корисних копалин; будівництво спеціальних підземних і наземних споруд. В гірництві виділяють такі великі напрями: *гірничо-геологічний (гірнича геологія, маркшейдерія, нафтова геологія і т.д.), гірничотехнологічний (свердловинна, шахтна, кар'єрна гірнича технологія, фізико-біологічна гірнича технологія тощо), гірничотехнічний (гірничі машини), гірничофізичний (гірнича геомеханіка, фізика гірських порід, підземна гідрогазодинаміка і т.д.), збагачення і*

первинна переробка гірничої сировини та гірничоекономічний напрямок гірничих наук.

Металургія – наука, техніка і галузь промисловості, пов’язана з одержанням металів з руд або металовмісних речовин з наданням їм необхідних властивостей. Розрізняють кольорову і чорну металургію. Важливими напрямками металургії є гідрометалургія, пірометалургія, вакуумна металургія, порошкова металургія, електрометалургія, плазмова металургія тощо.

Коксування – переробка природного палива нагрівом до температури 900... 1050°C без доступу повітря для одержання коксу, коксового газу та деяких побічних продуктів. Коксуванню піддають кам’яне вугілля, важкі продукти переробки нафти. В результаті коксування паливо розкладається з утворенням летких продуктів і твердого залишку коксу. Основним цільовим продуктом цього процесу є кокс, який використовується головним чином як відновник і паливо у металургійній промисловості.

Гірничі науки, коксохімія і металургія тісно взаємодіють з фізикою, хімією, біологією, екологією, математикою, економікою.

Енергетика – галузь господарства, що вивчає й використовує природні енергетичні ресурси з метою вироблення, перетворення, розподілу й споживання енергії. Є теплоенергетика, атомна енергетика, гідроенергетика (ці види в Україні розвинуті найбільше), а також вітро- та геліоенергетика і інш. Машинобудування – комплексна галузь важкої промисловості, підприємства якої виробляють знаряддя праці для економіки. Розвиток машинобудування – одна з головних умов, яка забезпечує сучасний технічний прогрес.

В курсі “Фізичні та хімічні основи галузевого виробництва” стоїть непроста задача інтегрувати всі зазначені галузі науки і практики, розкрити ті ключові фізичні і хімічні процеси і технічні рішення, створені на їх основі, які в основному визначають сучасний стан і тенденції розвитку ключових галузей економіки.

Ефективність використання корисної копалини залежить головним чином від вмісту в ньому корисного компонента і наявності шкідливих домішок. Корисні копалини, що добуваються, тільки в тих випадках піддаються безпосередній переробці металургійними, хімічними та іншими методами, коли їхня якість відповідає вимогам, що висуваються до даної сировини. Але такі корисні копалини в природі зустрічаються рідко. Вміст корисних компонентів у сировині, що добувається, може складати від часток відсотка (мідь, нікель, кобальт і ін.) до декількох відсотків (свинець, цинк і ін.) і декількох десятків відсотків (залізо, марганець, вугілля і ін.). Безпосередня переробка таких корисних копалин технічно і економічно недоцільна. Тому в більшості випадків корисні копалини піддаються спеціальній переробці з метою їхнього збагачення.

1. КОРИСНІ КОПАЛИНИ

Мета розділу: вивчення класифікації і основних ознак корисних копалин та продуктів їх первинної переробки.

1.1 КОРИСНІ КОПАЛИНИ І ПРОДУКТИ ЗБАГАЧЕННЯ

Корисними копалинами називаються природні мінеральні утворення, які за сучасного рівня розвитку техніки можуть використовуватись у господарстві у природному вигляді або після попередньої обробки.

За фізичним станом корисні копалини бувають твердими (руди, нерудні і горючі корисні копалини), рідкими (нафта, мінеральні води) і газоподібними (природні гази). За умовами утворення розрізняють корисні копалини ендегенні (магматичні, пегматитові, карбонатитові, гідротермальні та ін.), екзогенні (розсипні, осадові) та метаморфогенні. Бувають корисні копалини органічного і неорганічного походження. За умовами залягання – пластові, жильні та ін. За промисловим використанням виділяють такі групи корисних копалин: металеві (рудні), неметалеві (нерудні), горючі (паливні) й гідромінеральні. Значні скупчення корисних копалин утворюють родовища.

За своїм значенням корисні копалини поділяються на загальнодержавного і місцевого значення. В Україні віднесення корисних копалин до загальнодержавного та місцевого значення здійснюється Кабінетом Міністрів України за поданням Державного комітету України з геології і використання надр.

Ендегенні корисні копалини – речовини, які утворилися в надрах Землі внаслідок кристалізації, затвердіння магми та діяльності магматичних розчинів. До них належать:

магматичні – мінеральні асоціації, що утворилися внаслідок кристалізації та (або) затвердіння магми як на глибині, всередині земної кори, так і на поверхні після виверження; у залежності від цього виділяють два головних класи магматичних корисних копалин – інтрузивні (глибинні) та ефузивні (виливні);

пегматитові – крупнокристалічні мінеральні комплекси, що утворилися внаслідок кристалізації залишкового магматичного розплаву і які залягають у вигляді лінз, жил, штоків та гнізд;

карбонатитові – карбонатні або силікатно-карбонатні гірські породи; представлені жилами та масами неправильної форми з кальциту, доломіту і інш. карбонатів, що містять рудні мінерали, просторово і генетично асоційовані з глибинними (інтрузивними) утвореннями;

гідротермальні – речовини, які утворюються з гарячих водних (гідротермальних) розчинів, які циркулюють у надрах Землі.

Концентрація цінних мінералів у магмі, що вихолоняє зумовлена різними причинами:

- магма при охолодженні може розпадатися на дві рідини, що не змішуються (процес ліквідації, який приводить до виникнення ліквідаційних родовищ), прикладом є сульфідні мідно-нікелеві руди;

- цінні мінерали при розкристалізації можуть виділитися раніше від інших, зосередитися на дні магматичного резервуара і сформувати поклади ранньомагматичних родовищ (аккумулятивних або сегрегаційних родовищ). До них належать деякі родовища руд хрому, титану і заліза. Оригінальними ранньомагматичними утвореннями є трубки кімберлітів Сибіру і Південної Африки, що складаються із застиглої магми ультраосновного складу (кімберліт), що містить кристали алмазів, які виділилися на ранній стадії її охолодження;

- у магмі, багатій газом, при її розкристалізації речовина корисної копалини може сконцентруватися в легкоплавкому залишковому розплаві і при подальшому твердінні утворити пізньомагматичні родовища. Серед них відомі родовища титаномангнетитового типу – гори Качканар на Уралі, хромітів південного Уралу, апатитів Кольського півострова, танталу, ніобію і рідкісноземельних елементів;

- значно рідше родовища виникають у вигляді потоків, що виливаються з жерла вулканів, як напр., потоки сірки вулканів Італії і Японії.

Серед магматичних родовищ найбільш значні родовища руд заліза, титану, ванадію, хрому, платиноїдів, міді, нікелю, кобальту, апатиту, алмазів, ніобію, цирконію і гафнію. Магматичні гірські породи можуть використовуватись як будівельні (туфи, лабрадорити і ін.), абразивні (пемза) і теплоізоляційні (пемза, перліт) матеріали.

Екзогенні корисні копалини – речовини, які утворилися на поверхні Землі або у верхній частині земної кори під впливом процесів вивітрювання – фізичного, хімічного, біогенного руйнування, наприклад, при дії потоків води й живих організмів. Утворюються, зокрема, на дні боліт, озер, рік, морів і океанів. Вони формуються в результаті механічного і біохімічного перетворення та диференціації мінеральних речовин ендегенного походження. Розрізняють чотири генетичні групи цих копалин: залишкові, інфільтраційні, розсипні і осадові.

Залишкові формуються внаслідок винесення розчинних мінеральних сполук із зони вивітрювання і накопичення важкорозчинного мінерального залишку, що утворює руди заліза, нікелю, марганцю, алюмінію.

Інфільтраційні виникають при осадженні з підземних вод поверхневого походження розчинених в них мінеральних речовин з утворенням покладів руд урану, міді, срібла, золота, сірки самородної.

Розсипні утворюються при накопиченні в пухких відкладах на дні рік і морського узбережжя важких цінних мінералів, до числа яких належать золото, платина, мінерали титану, вольфраму, олова.

Осадкові утворюються в процесі осадонакопичення на дні морів і континентальних водоймищ, що формує поклади вугілля, горючих сланців, нафти, горючого газу, солей, фосфоритів, руд заліза, марганцю, бокситів, урану, міді, а також будівельних матеріалів (гравій, пісок, глина, вапняк, цементна сировина).

Сучасні осадові гірські породи утворилися на поверхні літосфери внаслідок вивітрювання та перевідкладення більш давніх порід різного походження, випадіння речовин з розчинів, нагромадження решток рослинних і тваринних організмів та продуктів їх життєдіяльності, вулканічного матеріалу та матеріалу, що надходить з космосу. Породоутворення осадових гірських порід включає таку послідовність основних процесів: *седиментація* або *седиментогенез* (накопичення осадів) → *діагенез* (перетворення осадів у гірські породи) → *катагенез* (зміни осадових порід на глибині поза зоною діагенезу) → *метагенез* (більш глибокі зміни речовини осадових порід на глибині) → *гіпергенез* (зміни порід під впливом вивітрювання в приповерхневій зоні земної кори). За характером осадонакопичення осадові родовища поділяють на 4 класи:

- механічні осадові родовища представлені уламковими фракціями осадів, що використовуються в основному як будівельні матеріали (родовища гравію, піску і глин), а також річкові, прибережно-морські і океанічні розсипи золота, платини, алмазів, мінералів олова, титану, вольфраму та ін.;

- хімічні осадові родовища включають родовища солей, гіпсу, ангідриту, боратів, бариту, руд заліза, марганцю, алюмінію (бокситів), а також деяких кольорових і рідкісних металів (мідь, молібден, ванадій, уран), що виникли зі справжніх колоїдних розчинів на дні водойм;

- біохімічні осадові родовища включають родовища горючих газів, нафти, вугілля, фосфоритів, карбонатних і кременистих порід; вони осаджувалися з розчинів при хімічних процесах внаслідок життєдіяльності організмів у водах і на дні водойм;

- вулканогенні осадові родовища виникли з осадів продуктів підводного і прибережного вулканізму; до них належать колчеданні родовища кольорових металів, оксидні родовища руд заліза і марганцю, а також яшм і кварцитів.

Біля 70 % всіх корисних копалин представлені осадовими гірськими породами.

Метаморфогенні гірські породи утворилися внаслідок суттєвої зміни текстури, структури і мінералогічного складу магматичних і осадових порід під дією температури, тиску і хімічних глибинних процесів. Метаморфізм звичайно відбувається при зміні температури в діапазоні 1100 – 300°C і тискові в діапазоні 1 – 6000 атм. Зміни включають перекристалізацію, мінералогічні і хімічні перетворення гірських порід.

Так наприклад, при тривалій дії великого тиску і високої температури утворюються різні метаморфічні сланці – хлоритові, глинисті та ін.; при зіткненні з розплавленою масою магматичних порід вапняки перетворюються у мрамур. Метаморфічні гірські породи характеризуються зернистою будовою, здебільшого сланцюватою текстурою. З метаморфізмом пов'язані родовища мармуру, корунду, сланців, андалузиту, кіаніту, силіманіту, аргілітів та ін.

Залежно від характеру і призначення цінних компонентів корисні копалини підрозділяють на рудні, нерудні і горючі.

Руди поділяються на металічні і неметалічні. До металічних відносяться руди, що є сировиною для одержання чорних, кольорових, рідкісних, дорогоцінних і інших металів (залізні, мідні, уранові і ін.). До неметалічних відносяться руди, що є сировиною для металургійної, хімічної і харчової промисловості (азбестові, графітові, фосфоритові і ін.).

До *нерудних корисних копалин* належить сировина для виробництва будівельних матеріалів (глина, пісок, гравій, вапняк і ін.).

Горючі корисні копалини представлені вугіллям, торфом, горючими сланцями, нафтою, природним газом, кристалогідратами.

Якість корисних копалин і продуктів збагачення визначається вмістом цінного компонента, домішок, супутніх елементів, а також вологістю і крупністю.

Корисним (цінним) компонентом називають хімічний елемент або природну сполуку, для одержання яких добувається корисна копалина (напр., Fe у залізних рудах, Cu у мідних рудах).

Домішками називають хімічні елементи або природні сполуки, що містяться в корисній копалині у невеликих кількостях. Домішки можуть бути корисними і шкідливими; корисні поліпшують якість цінного компонента, а шкідливі – погіршують (напр., V, W, Mn, Cr – корисні домішки в залізних рудах, а S, P – шкідливі).

Супутніми називають цінні елементи, що містяться в корисній копалині у невеликих кількостях, і їхнє вилучення економічно доцільне тільки тому, що вони добуваються з надр попутно з основним компонентом (напр., благородні метали в поліметалічних рудах). Супутні елементи при збагаченні виділяють або в самостійний продукт, або в колективний продукт з основним цінним компонентом. З колективно-

го продукту супутні елементи вилучають у процесі металургійної або хімічної переробки.

Мінерали, що не містять цінних компонентів, називають *порожньою породою*. При збагаченні вони разом зі шкідливими домішками направляються у відходи і видаляються у відвал.

У результаті збагачення корисна копалина розділяється на кілька продуктів: концентрат (один або декілька) і відходи. Крім того, у процесі збагачення можуть бути отримані проміжні продукти.

Концентрати – продукти, у яких зосереджена основна кількість цінного компонента. Концентрати в порівнянні зі збагачуваним матеріалом характеризуються значно більш високим вмістом корисних компонентів і більш низьким вмістом порожньої породи і шкідливих домішок.

Відходи – продукти, у яких зосереджена основна кількість порожньої породи, шкідливих домішок і невелика (залишкова) кількість корисних компонентів.

Проміжні продукти (промпродукти) – це механічна суміш зростків з розкритими зернами корисних компонентів і порожньої породи. Промпродукти характеризуються більш низьким у порівнянні з концентратами і більш високим у порівнянні з відходами вмістом корисних компонентів.

Найбільш масовими корисними копалинами, що добуваються з надр, являються вугілля і залізні руди.

1.2. ВЛАСТИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА МІНЕРАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Корисні копалини є комплексною сировиною, яка містить поряд з цінними мінералами й породні. Корисні копалини дуже різноманітні і мінливі за хімічним і мінералогічним складом, характером вкращення, текстурними і структурними особливостями, ступеню окиснення, міцності, дробимості, подрібнюваності, збагачуваності. Відмінності властивостей мінералів використовуються при їх переробці.

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ гірських порід – внутрішні, властиві даній гірській породі особливості, які зумовлюють її відмінність або спільність з іншими гірськими породами і виявляються як реакція на вплив зовнішніх фізичних полів або середовищ. До базисних фізичних властивостей гірських порід і мінералів належать:

- *щільнісні* – об'ємна маса, пористість;
- *механічні* – межа міцності на стиск та розтягнення, модуль поперечної пружності (модуль Юнга), коеф. відносних поперечних де-

формацій (коєф. Пуассона), а також пружність, пластичність, твердість, міцність, крихкість, дробимість;

- *теплові* – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність, термічне розширення;

- *електромагнітні* – питомий електричний опір, відносна діелектрична проникність, відносна магнітна проникність, електризація та результати вивчення гірських порід спеціальними методами (ЕПР, ЯМР тощо).

Крім того, до основних фізичних властивостей гірських порід належать хвильові, радіаційні, гідрогазодинамічні властивості. Широкий діапазон значень фізичних властивостей гірських порід пояснюється різноманіттям їх мінерального складу, будови, багатозначністю, а також генезисом.

Густина гірських порід знаходиться в межах 1000 (*туфи*) - 4700 кг/м³; модуль поздовжньої пружності 5×10^9 - $1,5 \times 10^{11}$ Па; коєф. Пуассона 0,15-0,38; межа міцності при стисненні до 5×10^8 Па; межа міцності при розтягу до $2,0 \times 10^7$ Па; коєф. *теплопровідності* 0,2 - 10 Вт/(м·К); питома теплоємність 0,5-1,5 кДж/кг·К; коєф. лінійного теплового розширення 2×10^{-6} - 4×10^{-4} К⁻¹; питомий електричний опір 10^{-2} - 10^{12} Ом·м; відносна діелектрична проникність 2-30; *магнітна сприйнятливість* 10^{-7} -3,0.

В залежності від характеру зв'язків окремих зерен розрізняють такі типи гірських порід:

- *п у х к і* (роздільно-зернисті) - механічні суміші різних мінералів або зерен одного мінералу, не пов'язаних між собою, напр., пісок, гравій, галька;

- *з в'я з н і* (глинисті) – гірські породи з водно-колоїдними зв'язками частинок між собою, напр., глини, суглинки, боксити; їх особливість - висока пластичність при насиченні водою;

- *т в е р д і* (скельні та напівскельні) - з жорсткими та пружними зв'язками, що мають фізико-хімічну природу, напр., пісковики, граніти, діабазы, гнейси. Як об'єкт гірничих розробок гірські породи поділяють на скельні, напівскельні, щільні, м'які, сипучі, зруйновані. За структурою гірські породи поділяють на кристалічні, приховано-кристалічні, склуваті, порфірові, уламкові. За текстурою – масивні, пористі, шаруваті. Характеристики та гірничо-технологічні властивості гірських порід – твердість, міцність, абразивність, тривкість, буримість, висаджуваність (вибуховість), збагачуваність.

ТВЕРДІСТЬ мінералів – властивість чинити опір зовнішньому механічному впливу інш. більш твердого тіла, тобто деформуванню при місцевій силовій дії твердих тіл на їх поверхню. Зумовлена головним чином міцністю кристалічної ґратки (тобто типом структури, приро-

дою і силою хімічного зв'язку, розміром і зарядом частинок, міжатомними відстанями і інш.) і її механічними параметрами (пружністю, пластичністю, крихкістю, наявністю і кількістю дислокацій).

У залежності від методу випробування розрізняють твердість дряпання, втиснення, шліфування. Визначається переважно методами Брінелля, Віккерса, Роквелла, Шора або Мооса. Найбільш древнім є спосіб дряпання еталонними мінералами шкали Мооса, більш точне визначення твердості дряпанням проводиться з допомогою спеціальних приладів – склерометрів та мікротвердометрів і визначається в кг/мм^2 . З 40-х рр. XX ст. дістав поширення метод статичного втиснення алмазної піраміди Віккерса, який Комісія з рудної мікроскопії Міжнародної мінералогічної асоціації визнала основним при діагностиці мінералів (в аншліфах). Метод дає можливість визначати твердість мікроскопічно малих виділень діаметром 10-30 мкм, дуже чутливий, має універсальну сферу застосування.

У практиці широко застосовується шкала Мооса – десятибальна шкала твердості мінералів, за якою розрізняють десять ступенів твердості. Відносна твердість мінералів за цією шкалою визначається шляхом дряпання мінералу, який досліджується, гострими кінцями еталонних мінералів (пасивна твердість) або дряпання еталонних мінералів досліджуванним зразком (активна твердість). Еталонами є: 1 – тальк, 2 – гіпс, 3 – кальцит, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Мінерал з більшою твердістю дряпає мінерал з меншою твердістю, тобто кожний наступний мінерал цього ряду здатний дряпати попередній мінерал, але не дряпає наступного за ним, більш твердого. Якщо, напр., гіпс не залишає подряпини на поверхні мінералу, що досліджується, а кальцит залишає, то його твердість вважають рівною 2,5. Ш.М. використовують для швидкої діагностики мінералів. Визначення твердості за шкалою Мооса зручне в польових умовах.

МІЦНІСТЬ гірських порід – їх властивість в певних умовах, не руйнуючись, сприймати впливи механічних навантажень, температурних, магнітних, електричних і інш. полів, нерівномірне протікання фіз.-хім. процесів в різних частинах гірських порід. Розрізняють такі різновиди міцності мінералів:

- **теоретичну** – обчислену на основі обліку сил міжатомного зчеплення (вона відповідає приблизно $1/6$ модуля поздовжньої пружності);

- **статичну** – властивість гірських порід сприймати короткочасні навантаження, прикладені з постійною швидкістю;

- **динамічну** – властивість гірських порід сприймати, не руйнуючись, динамічне навантаження;

- т р и в а л у – міцність гірських порід, що знаходяться тривалий час під навантаженням; зменшення міцності *породи* в результаті збільшення тривалості дії навантаження характеризується коефіцієнтом розслаблення, що дорівнює відношенню миттєвої межі *міцності* на стиснення до певного значення тривалої *міцності* г.п. (для *глини* цей коеф. дорівнює 1,5, для *пісковика* – 1,8, *бетону* – 1,7);

- з а л и ш к о в у – рівень несучої здатності зруйнованої гірської породи, що дорівнює мінімальним напруженням при даній величині *деформації*, які *порода* витримує без подальшого деформування і руйнування;

- е л е к т р и ч н у – визначається значеннями напруги пробою.

Крім того, розрізняють к о н т а к т н у міцність гірських порід – властивість приповерхневого шару породи протистояти руйнуванню при місцевих контактних діях. Остання використовується як критерій руйнівної здатності порід різцями та шарошковим інструментом.

Показниками, що характеризують міцність г.п. для різних випадків, є: границі міцності порід на стиснення $\sigma_{ст}$, розтягнення σ_p , зсув $\theta_{зс}$, вигин $\theta_{виг}$, а також текучості σ_t , повзучості $\sigma_{п}$ та інш. Для більшості порід границя міцності на розтягнення σ_p не перевищує 20 МПа. Границі міцності порід при зсуві, вигині і інш. видах деформацій завжди менші $\sigma_{ст}$ і більші σ_p , але ближчі до останньої. З породотвірних мінералів найбільшу міцність має кварц. У нього $\sigma_{ст}$ перевищує 500 МПа, у польових шпатів, піроксенів, авгіту, рогової обманки, олівіну і інш. залізисто-магнезійних мінералів $\sigma_{ст} = 200-500$ МПа, у кальциту $\sigma_{ст}$ бл. 20 МПа. У полікристалічних г.п. міцність в основному визначається силами взаємного зчеплення безпосередньо дотичних між собою зерен і насамперед залежить від їх міцності, а також будови. Найбільші значення границі міцності при стисненні мають щільні дрібнозернисті кварцити і нефрити (500-600 МПа). Значну міцність (більше 350 МПа) мають щільні дрібнозернисті граніти, трохи меншу – габро, діабазы і грубозернисті граніти. Міцність вугілля при стисненні змінюється в залежності від ступеня його метаморфізму і зольності від 1 МПа (коксівне вугілля) до 35 МПа (антрацити).

АБРАЗИВНІСТЬ гірських порід – здатність гірських порід зношувати тверді тіла, які контактують з ними (деталі машин, бурових доліт, інструменти і т.і). Зумовлена в основному міцністю, розмірами і формою мінеральних зерен, що складають породу. Абразивність оцінюють за ступенем зносу штифтів, стержнів, металевих кілець, які труться об поверхню порід при свердлінні або різанні, а також за ступенем стирання порід абразивними матеріалами.

Часто застосовують емпіричні методи оцінки абразивності. За методикою Л.І.Барона і А.В.Кузнецова, показник А.г.п. визначають як сумарну втрату маси (в мг) стандартного стержня, що обертається (з частотою 400 хв⁻¹), притиснутого до породи, при осьовому навантаженні 150 Н за час випробування (10 хв). Абразивність гірських порід поділяють на вісім класів. Показник абразивності складає для мармуру 400-500 мг, вапняку – 800-900 мг, граніту – 1000-2000 мг, кварциту – 2100-2500 мг. Для малоабразивних порід, напр., вугілля (абразивність до 5 мг), показник абразивності визначають шляхом стирання стандартного еталона (при постійному тиску на контакті) об роздроблену пробу матеріалу. Найбільш абразивними є породи, що містять корунд, порфірит, діорит, граніт. Абразивність впливає на ефективність буріння, різання, сколювання, черпання гірських порід.

ТРИВКІСТЬ гірських порід – загальноприйняте умовне поняття, яке символізує сукупність механічних властивостей мінералів, що виявляється в різних технологічних процесах при видобутку і переробці корисних копалин. Тривкість – здатність гірських порід чинити опір руйнуванню під дією зовнішніх сил. Тривкість залежить від твердості, в'язкості, крихкості, пружних властивостей, мінералогічного складу і структури, щільності та кліважу. Тривкість зростає зі збільшенням сил зв'язку між частинками і окремостями гірських порід та вмісту міцних мінералів в породі і знижується, як правило, при зволоженні. За М.М.Протодьяконовим виділено 10 категорій тривкості. Метод експериментального визначення коеф. тривкості ($K_{тр}$), запропонований М.М.Протодьяконовим, оснований на відносній оцінці роботи, затраченої на дроблення гірської породи вантажем масою 2,4 кг, що вільно падає з вис. 0,6 м.

Класифікація тривкості гірських порід (за М.М. Протодьяконовим)

Категорія	Ступінь тривкості породи	Породи	$K_{тр}$
I	Найвищий	Кварцити, базальти та ін. винятково міцні породи	20
II	Дуже тривкі породи	Граніт, кварцові порфіри, кременистий сланець, пісковики та вапняки підвищеної міцності, деякі кварцити	15
III	Тривкі породи	Граніти та гранітні породи, пісковики і вапняки, міцні мінерали залізних руд	10
III-a	Тривкі породи	Вапняки, деякі граніти (неміцні), пісковики, мармур, доломіт, колчедани	8
IV	Досить тривкі породи	Звичайний пісковик, залізисті руди	6
IV-a	Досить тривкі породи	Піскуваті сланці, сланцеві пісковики	5

V	Породи середньої тривкості	Міцний глинистий сланець, неміцні різновиди пісковиків і вапняку, м'який конгломерат	4
V-a	Те саме	Різноманітні неміцні сланці, щільний мергель	3
VI	Досить м'які породи	М'який сланець, дуже м'який вапняк, крейда, кам'яна сіль, гіпс, мерзлий ґрунт, антрацит, звичайний мергель, зруйнований пісковик, кам'янистий ґрунт	2
VI-a	Досить м'які породи	Щебенистий ґрунт, зруйнований сланець, злежалі галька та щебінь, тверде кам'яне вугілля, затверділа глина	1,5
VII	М'які породи	Глина (щільна), м'яке кам'яне вугілля, міцні наноси	1,0
VII-a	М'які породи	Легка піскова глина, лес, гравій	0,8
VIII	Землянисті породи	Чорнозем, торф, легкий суглинок, сирий пісок	0,6
IX	Сипучі породи	Пісок, осипи, дрібний гравій, насипна земля, видобуте вугілля	0,5
X	Пливкі породи	Пливуні, болотистий ґрунт, розріджений лес, розріджено-зволожений ґрунт	0,3

Сучасні методи розробки корисних копалин при дії на породу включають більш доцільні стискаючі, сколюючі і розтягуючі зусилля. При цьому тривкість для відносної техніко-економічної оцінки прийнято класифікувати 5 класами по 5 одиниць міцності в кожному. Для характеристики тривкості в цьому випадку слугує показник важкості руйнування порід P_r , який змінюється для реальних порід від 0,2-1 до 21-25. З метою нормування і розрахунку машин і механізмів у практиці гірничої справи використовують окремі, переважно відомчі, технологічні критерії: буримість, вибуховість, дробимість, подрібнюваність і т.д. З них найбільшого розповсюдження набули буримість та вибуховість, для яких розроблено ряд класифікацій гірських порід за буримістю та вибуховістю. Аналіз свідчить, що всі технологічні показники корелюють між собою та з коефіцієнтом тривкості М.М.Протодьяконова. Між тривкістю і міцністю мінералів існує прямий кореляційний зв'язок.

КРИХКІСТЬ гірських порід – їх властивість порівняно легко рватися, ламатися або руйнуватися при статичному навантаженні без помітної залишкової деформації (не більше за 5% від величини деформацій руйнування). Абсолютна більшість гірських порід належить до крихких матеріалів. Крихкість мінералів – властивість мінералів кришитися при дряпанні вістрям ножа по його поверхні. Якщо на мінералі залишається риса з порошком по краях, то він є крихким. За крихкістю мінерали поділяють на 5 груп: 1) дуже крихкі (пірит, гіпс), 2)

крихкі (пентландит, тетраедрит), 3) слабо пластичні (кварц, піротин), 4) пластичні (магнетит), 5) дуже пластичні (мідь, галеніт).

БУРИМІСТЬ – опірність гірських порід руйнуванню в процесі буріння. Оцінюється швидкістю, тривалістю та енергоємністю буріння одиниці довжини стовбура свердловини або шпура при стандартних умовах.

Буримість погіршується із збільшенням щільності, густини, міцності, в'язкості, твердості, абразивності гірських порід, залежить від мінерального складу, будови порід та термодинамічних умов. Всі гірські породи класифікують за показником буримості на 25 категорій з підрозділом на 5 класів: 1 – легкої буримості; 2 – середньої буримості; 3 – важкої буримості; 4 – дуже важкої буримості; 5 – виключно важкої буримості. Використання показника буримості полегшує вибір бурових установок та технологічні розрахунки їх потужностей, режиму та технічної швидкості буріння шпурів і свердловин.

ВИБУХОВІСТЬ (висаджуваність) – характеристика спротиву гірських порід руйнуванню під дією вибуху.

Визначається кількістю еталонної вибухової речовини (ВР) або кількістю енергії ВР, необхідної для утворення вирви вибуху певних розмірів. Іншим способом оцінки вибуховості гірських порід є визначення максимальної лінії найменшого спротиву порід, при якій вибух заряду еталонної ВР ще здійснює відрив породи від масиву. Стосовно свердловинних зарядів розрізняють вибуховість легку, середню, важку та вельми важку. Вибуховість залежить від міцності, в'язкості, пружних і пластичних властивостей, густини мінералів, а також від їх зернистості, шаруватості, кліважності, тріщинності.

ВОДОПРОНИКНІСТЬ – здатність порід пропускати через себе воду (через порожнечу – пори, тріщини і т.і.) під дією гравітаційної сил, напору або капілярного підняття.

Кількісно водопроникність/водотривкість оцінюється об'ємом води, що проходить через одиницю поверхні за одиницю часу при градієнті тиску (коеф. проникності), що дорівнює одиниці, або швидкістю переміщення води в породах (коеф. фільтрації) K_f (м/год). Розрізняють породи водотривкі ($K_f < 0,1$ м/добу; напр., глини), слабопроникні ($0,1 < K_f < 10$ м/добу; леси, суглинки), гірські породи середньої проникності ($10 < K_f < 500$ м/добу; пористі вапняки, пісковики) і легкопроникні ($K_f > 1000$ м/добу; крупні піски, галька, тріщинуваті масиви скельних порід). Водотривкість впливає на вибір технології ведення гірни-

чих робіт, методів і схем осушення родовищ, методів боротьби з раптовими викидами, а також використовується для визначення кількості і потужності насосів для водозниження тощо.

ПЛАСТИЧНІСТЬ – властивість гірських порід змінювати свою форму (деформуватися) без мікроскопічних порушень зв'язності (суцільності) під дією механічного навантаження.

Глинисті породи, леси, мергелі, крейда, ґрунти, що залягають на поверхні Землі, набувають пластичності за певних умов зволоження, глибинні гірські породи – під дією температури й тиску (пластичність збільшується із зростанням температури і тиску). Породи, які ведуть себе у звичайних умовах як крихкі, при підвищених тисках і температурах набувають явно виражених пластичних властивостей. Це треба враховувати при розробці покладів на великих глибинах. Напр., здатність до пластичних деформацій у вапняків та алевролітів з'являється вже при тиску біля 50 МПа, у ангідридів – бл. 100 МПа, пісковиків – понад 400 МПа. Найбільш пластичні глини, графіт, кам. сіль. Пластичність гірських порід залежить від мінерального складу. Наявність жорстких кварцових зерен та польового шпату у породі зменшує її пластичність. Пластичність вугілля залежить від вмісту в ньому вуглецю. При переході від малометаморфізованого вугілля до антрацитів пластичність зменшується в 30 разів. Щодо глинистих порід, то в залежності від ступеня їх зволоженості вони можуть бути крихкими, пластичними і текучими.

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ мінералів і гірських порід – сукупність властивостей, що характеризують здатність мінералів і гірських порід намагнічуватися у зовнішньому магнітному полі. Мінерали поділяються на:

- діамагнетики (напр., кварц, кальцит, польові шпати, самородне срібло і золото, флюорит і інш.),
- парамагнетики (залізовмісні силікати, хлорит, слюда і інш.),
- антиферомагнетики (гематит, гетит і інш.),
- феромагнетики (самородне залізо, нікель і інш.),
- феримагнетики (магнетит, титаномангнетит, магномангнетит, хроміт і інш.).

До слабкомагнітних належать діа- і парамагнітні мінерали, до сильномагнітних – феромагнітні і феримагнітні мінерали. Основні магнітні характеристики мінералів: магнітна сприйнятливість, намагніченість, точки Кюрі і Нееля та коерцитивна сила. У точці Кюрі від-

бувається перехід речовини з феромагнітного в парамагнітний стан, намагніченість практично зникає. Температуру переходу речовини з антиферомагнітного в парамагнітний стан називають температурою Неєля. Вивчення магнітних властивостей дозволяє судити про умови утворення і перетворення мінералів і гірських порід, про природу магнітних аномалій Землі. На магнітних властивостях оснований магнітна розвідка і археомагнетизм, методи магнітного збагачення корисних копалин.

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ мінералів і гірських порід – властивості, які визначаються електричним опором порід або їх електропровідністю (що є зворотною електроопору), а також діелектричною проникністю. Гірські породи здебільшого є напівпровідниками, частина їх - діелектрики. В таблиці подано питомий електричний опір $\rho_{\text{п}}$ деяких гірських порід та відносну діелектричну проникність ϵ деяких Г.П.

Питомий опір та відносна діелектрична проникність деяких гірських порід

Речовина	$\rho_{\text{п}}, \text{ом} \cdot \text{м}$	ϵ	Речовина	$\rho_{\text{п}}, \text{ом} \cdot \text{м}$	ϵ
Повітря	∞	1,0006	Руда піритова	10^2	-
Вода	10^5	80,0	Руда магнетитова	10^5	-
Лід	$6,7 \times 10^5$	79,0	Руда хромітова	10^3	-
Нафта	10^{10}	2,0-2,7	Роговик піроксеновий	10^3-10^4	11,0
Аргіліт	102	6,0-8,0	Кам'яне вугілля	10^3-10^{12}	3,0-15,0
Глина	10^6	7,0-12,0	Вапняк тонкозернистий	10^5	7,0-11,0
Гнейс	10^2-10^7	8,0-15,0	Кварцит	10^5	7,0
Граніт	10^2-10^7	4,9-9,0	Мармур	10^2-10^5	8,3
Габро	10^2-10^5	17,5	Порфір кварцевий	10^2	14,0-17,0
Діорит	10^2-10^8	8,0-9,0	Перидотит	10^2-10^3	8,6
Діабаз	10^2-10^6	14,4-28,5	Сланець серицитовий	10^4	11,0-12,0
Вапняк	10^2-10^3	8,0-15,0	Скарн нерудний	10^8-10^9	4,0-8,0
Пісковик	10^8	9,0-11,0	Серпентиніт	10^3-10^4	11,2
Руда марпитова	10^4-10^5	-	Сієніт	10^2-10^5	7,0-14,0

На електричні властивості гірських порід впливає вологість, вміст солей, мінеральних домішок, орієнтація вимірювань (вздовж чи впоперек шару), температура порід, частотні характеристики електричного поля, структура мінералів тощо. Наявність прожилок рудних матеріалів суттєво підвищує електропровідність порід. Домішки часто да-

ють той же ефект. Цементация, навпаки, знижує електропровідність, оскільки цементуючими речовинами є речовини з великим опором - кварц, гіпс, кальцит та ін. Метаморфізм вугілля підвищує їх електропровідність, причому особливо різко при вмісті вуглецю понад 87%. Із збільшенням зольності електричний опір вугілля (при відсутності піриту) зростає. Вивітрювання та пористість також спричиняють зростання електроопору гірських порід. Причому електричний опір деяких гірських порід (пісковиків, вапняків, доломітів і т.д.) суттєво залежить від форми пор. Зволоження та водонасичення порід може змінити їх електричний опір на декілька порядків, викликає збільшення діелектричної проникності гірських порід. Електропровідність пластових вод залежить від їх мінералізації. Електропровідність нафти порівняно низька, тому нафтонасичені породи менш електропровідні. З підвищенням температури електропровідність та діелектрична проникність порід зростає, що відповідає законам квантової теорії. Електропровідність замерзлих порід, особливо пухких та тріщинуватих зменшується, причому різко після переходу в область нижче 0°C, що, очевидно, пов'язано з більшим, ніж у води, електроопором льоду.

Контрольні запитання

- 1. Що називається корисною копалиною?*
- 2. На які види розділяють корисні копалини?*
- 3. За якими показниками визначається якість корисної копалини?*
- 4. Яка мета первинної переробки корисної копалини?*
- 5. Які продукти (за якістю) одержують в результаті первинної переробки?*
- 6. Які властивості мінералів використовуються при збагаченні корисних копалин?*

2. ВУГІЛЛЯ

Мета розділу: вивчення процесів походження і властивостей вугілля.

Викопне вугілля – тверда горюча копалина органічного походження, бурого і чорного кольору. Густина 0,92-1,70 г/см³. Розрізняють вугілля буре та вугілля кам'яне, а також вугілля коксівне, вугілля енергетичне, вугілля солоне, антрацит.

У світі відомо близько 3000 вугільних родовищ і басейнів. Існують різні оцінки загальних світових запасів викопного вугілля – від 3,7 до 16 і більше трлн.т. Викопне вугілля складає близько 87% викопного палива Землі. Розвідані запаси вугілля Світовим енергетичним конгресом 1998 р. в млрд.т.у.п. були оцінені так: світові – 799,8; Європа – 72,6; Україна – 34,0. У світовому паливно-енергетичному балансі викопне вугілля складає близько 25%.

Найбільші загальні ресурси вугілля знаходяться в США, КНР, РФ, Австралії, Канаді, ФРН, ПАР, Великобританії, Польщі, Індії, Україні. За геологічними запасами вугілля Україна посідає перше місце в Європі.

Україна є однією з найбільших вугледобувних країн світу, її розвідані запаси вугілля складають близько 50 млрд. т, прогнозні запаси – близько 120 млрд. т. Поклади вугілля зосереджені в Донецькому, Львівсько-Волинському і Дніпровському басейнах.

2.1 ПОХОДЖЕННЯ ВУГІЛЛЯ



*Кам'яне вугілля.
Зовнішній вигляд.*

Викопне вугілля – тверда горюча речовина органічного походження. Вугільна речовина являє собою складну багатомолекулярну сполуку, що утворилася з продуктів перетворення рослинних залишків в результаті процесів полімеризації і конденсації, які траплялися на всіх стадіях вуглеутворення.

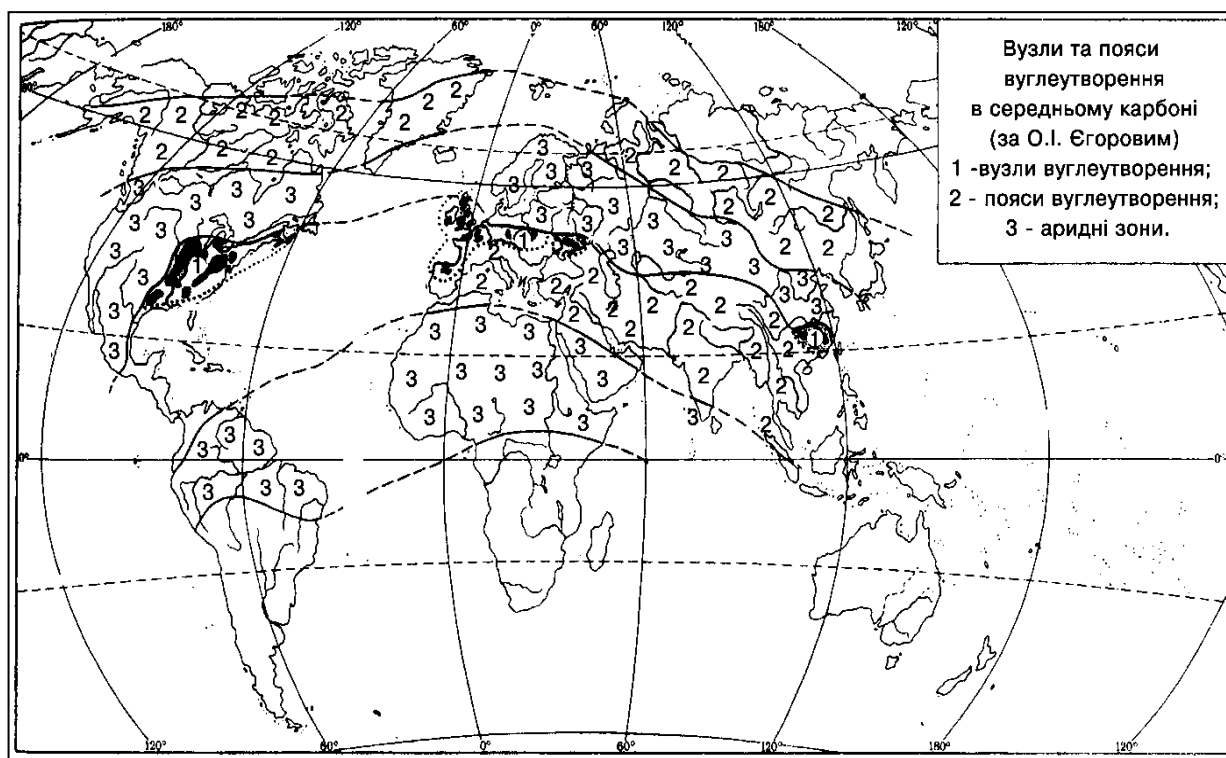
Найактивніше вуглеутворення відбувалося у Кам'яновугільний період, який настав близько 350 млн. років тому і тривав 65-70 млн. років. У карбоні великого розвитку набула наземна рослинність (лепідодендрони, сигілярієві, деревовидні папороті тощо). З їхніх решток в основному і утворилося кам'яне вугілля. Вугільні басейни і родовища карбону широко представлені в Європі і Півн. Америці, де сконцентровано понад 80% загальних геологічних запасів вугілля цієї доби. Осн. вугільні басейни - в Україні - Донецький і Львівсько-Волинський. В Азії - Кузнецький, Карагандинський, Екібастузький і Тунгуський та ін. З відкладами карбону пов'язані найбільші в Європі басейни: Південний Уельс, Ланкашир, Нортумберленд, Кент - у Великій Британії, Астурійський - в

Іспанії, Валансьєн - у Франції, Льєж і Кампін - у Бельгії, Нижньорейнсько-Вестфальський (Рурський) - у ФРН, Верхньосілезький - у Польщі, Остравський - у Чехії. В Півн. Америці з пенсильванськими товщами пов'язане найбільше вугленакопичення (Аппалачський, Ілінойський, Пенсильванський, Мічиганський, Техаський бас.).

Рослини-вуглеутворювачі – вимерлі рослини фанерозою, залишки яких складають органічну масу викопного вугілля. У вертикальній стратиграфічній послідовності виділяють три групи вуглетвірної флори: I. Середній девон – нижній перм: • плауноподібні (лепідодендрони, сигілярії, селлагінели та ін.); • членистостеблові (клинолистові, хвощеподібні, каламіти та ін.); • папоротникоподібні (маратієві, негератієві та ін.); • голонасінні (птеридосперми, гласоптерис, кордаїти, хвойні). II. Верхній перм – середня крейда: • голонасінні (ті ж, а також цекадофіти та гінкгові; переважали кордаїти); • членистостеблові (переважно хвощі, каламіти); • справжні папороті. III. Верхня крейда – олігоцен: • голонасінні (г.ч. хвойні, кипариси, таксодієві); • покритонасінні (бук, клен, лаврові, мітрові та ін.).

За морфологічними ознаками рослини-вуглеутворювачі поділяються на деревні, трав'янисті та деревоподібні. Переважає вугілля утворене з рослин деревної форми (голонасінні та покритонасінні). В Україні переважає вугілля вестфальської флори (Донбас, Львівсько-Волинський басейн) та еоценової флори (Дніпровський басейн).

Вугілля відрізняється великою різноманітністю властивостей, які залежать від складу вихідних рослинних залишків, умов їх накопичення, процесів розкладання і перетворення, геологічних факторів та ін. Залежно від вихідних рослинних матеріалів розрізняють два класи



горючих копалин: *гумоліти* (гуміти і ліптобіоліти), що утворилися з вищих багатокліткових рослин, і *сапропеліти*, що утворилися з нижчих рослинних матеріалів і тваринного планктону.

Залишки органічної речовини послідовно перетворювалися в торф, буре вугілля, кам'яне вугілля і антрацити.

При цьому підвищувався вміст вуглецю, знижувався вихід летких речовин, збільшувалася відбивна здатність геліфікованих компонентів. Виділяють 2 стадії вуглеутворення: *діагенез* і *метаморфізм* вугілля. У стадії *діагенезу* завершуються гуміфікація рослинного матеріалу, старіння і затвердіння колоїдів, відбуваються дегідратація, виділення газів та ін. діагенетичні перетворення органічних і мінеральних компонентів, складається петрографічний склад вугілля. Подальший *метаморфізм* вугілля - сукупність фізико-механічних процесів, зумовлених тривалим впливом підвищених температур і тиску при зануренні вугленосних товщ у надра Землі, приводить до структурно-молекулярного перетворення мікрокомпонентів вугілля та істотних змін їх хімічного складу і фізичних властивостей.

Періодичними змінами умов покриття органічної маси водою і осадовими породами пояснюється утворення численних вугільних напластувань. Різноманітність морфологічних різновидів і речовинного складу рослинних залишків, а також неоднакова швидкість їх хімічного перетворення привели до високого ступеня неоднорідності вугільної речовини. Цим також обумовлюються значні відмінності в петрографічному складі, хімічних і фізичних властивостях викопного вугілля.

2.2 ВЛАСТИВОСТІ ВУГІЛЛЯ

Фізичні властивості

Фізичні властивості вугілля і мінеральних домішок суттєво впливають на вибір і ефективність процесів збагачення. Механічна міцність обумовлює гранулометричний склад і шламоутворення. Густина вугільної речовини залежить від його петрографічного складу, стадії метаморфізму і насичення мінеральними включеннями, дисперсність яких є основним показником при виборі методів і схем збагачення. Електричні і діелектричні властивості визначають можливість застосування способів електрофізичного контролю і збагачення.

Густина вугілля являє собою відношення його маси до об'єму. Розрізняють густину дійсну, органічної маси, уявну і насипну.

Дійсна густина – це кількісне вираження маси одиниці об'єму вугілля без пор і тріщин. Дійсна густина сухого вугілля при фактичній зольності може бути приблизно визначена за формулою:

$$\rho_{\partial} = 100 \left[(100 - 1,1A^d) / \rho_0 + A^d / 2700 \right]^{-1}, \quad (2.1)$$

де ρ_0 – густина органічної маси, кг/м³; A^d – зольність вугільної проби на суху масу, %; 2700 – умовна середня дійсна густина мінеральних домішок у вугіллі, кг/м³.

Дійсна густина, перерахована на суху беззольну речовину, називається *густиною органічної маси вугілля*. Густина органічної маси вугілля розраховується за формулою:

$$\rho_0 = (100\rho_{\partial} - 2700A^d) / (100 - A^d) \quad (2.2)$$

де ρ_{∂} – дійсно густина, кг/м³

Густина органічної маси залежить від стадії метаморфізму, його природи і петрографічного складу. Густина органічної маси кам'яного вугілля зростає від довгополуменового до пісного і антрацитів (від 1160 до 1590 кг/м³). Густина мінеральних домішок може змінюватися від 2650 (глинисті мінерали, кварц) до 3900 кг/м³ (сидерит).

Уявна густина – це маса одиниці об'єму пористого (природного) вугілля. Вона завжди менше дійсної і для кам'яного вугілля знаходиться в межах 1200 – 1350 кг/м³. Так як рядове вугілля складається з органічної маси і мінеральних домішок, які входять не тільки в його насипну масу, але й кожную грудку, то показник густини характеризує ступінь концентрації органічної маси або мінеральних домішок. Вміст мінеральних домішок у вугільних продуктах характеризують зольністю.

Зольність характеризує вміст негорючого залишку, який утворюється з мінеральних домішок (в основному оксиди кремнію, алюмінію, заліза, кальцію) при повному згорянні палива. Для кам'яного вугілля встановлений тісний зв'язок між густиною і зольністю:

$$\rho_y^{-1} = \rho_0^{-1} - 0,91(\rho_0^{-1} - \rho_m^{-1})(A^d - A_{\min}^d), \quad (2.3)$$

де ρ_m – середня густина мінерального компонента, кг/м³, A_{\min}^d – зольність органічної маси, %

Насипна густина вугілля являє собою відношення його маси до об'єму, що заповнений вільною або ущільненою насипкою (густина маси вугілля в штабелі, вагоні, бункері і т.п.). Насипна густина змінюється у великому діапазоні і залежить від густини, розміру грудок,

гранулометричного складу і вологості вугілля, а також способу заповнення ємностей.

Механічна міцність вугілля характеризується здатністю до дроблення, крихкістю, твердістю, тимчасовим опором стиску, а також термічною стійкістю (для антрацитів). Механічна міцність кам'яного вугілля залежить від складу органічної маси і мінеральних домішок. Вона найбільш висока у довгополуменового і газового вугілля і різко знижується у жирного, коксівного і деякого пісного вугілля. Антрацит належить до механічно міцного і дуже міцного вугілля, а буре вугілля має найнижчу міцність. Механічна міцність обумовлює гранулометричний склад вугілля, його зміну і шламоутворення при транспортуванні, складуванні і збагаченні. Механічна міцність є одним з факторів, що впливають на вибір процесів і схем збагачення вугілля.

Коефіцієнт тертя вугілля – одна з важливих характеристик при виборі кутів нахилу жолобів і інших транспортних засобів для рядового вугілля і продуктів збагачення. Коефіцієнт тертя також суттєво впливає на результати розділення в деяких процесах (напр., при збагаченні на концентраційних столах, протитечійною сепарацією, за тертям, при зневодненні в центрифугах та ін.).

Оптичні властивості вугілля (колір, блиск, прозорість, відбивна здатність і заломлення світла) тісно пов'язані з молекулярною структурою органічної речовини і закономірно змінюються залежно від зміни цієї структури під впливом факторів метаморфізму. Різні мікрокомпоненти вугілля мають різну відбивну здатність, яка зростає від ліптиніту к вітриніту і фюзиніту. Оптичні властивості вугілля можуть бути використані при розробці спеціальних методів збагачення.

Електричні властивості вугілля визначають по провідності ним електричного струму. Електричний опір вугілля не можна вважати постійним, тому що він залежить від його хімічного і мінерального складу, а також від вологості і температури. Питомий електричний опір кам'яного вугілля і антрацитів визначений в порошку при кімнатній температурі і атмосферному тиску складає для донецького вугілля марок – Г і Ж $10^{10} - 2 \cdot 10^{10}$ Ом • см, для антрацитів – $5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$ Ом • см. В результаті термічної обробки кам'яного вугілля і антрацитів електричний опір змінюється у великих межах і досягає мінімуму при температурі 1000 – 1300 °С. Вологість вугілля, а також вміст у воді розчинних солей значно змінюють електричний опір. Неоднорідності електричної провідності грудок вугілля і породи використовуються для механізованої вибірки породи в електричних породовибірних сепараторах.

Діелектричні властивості вугілля характеризуються діелектричною проникністю, яка залежить від природних властивостей і волого-

сті вугілля. Зі збільшенням вологості діелектрична проникність також збільшується. Діелектричну проникність використовують у вологомірах для контролю і автоматизації технологічних процесів збагачення.

Магнітні властивості вугілля характеризуються магнітною сприйнятливістю, яка для чистого вугілля закономірно зростає зі збільшенням стадії метаморфізму. За магнітними властивостями вугілля належить до діамагнітних речовин, для яких інтенсивність намагнічування пропорційна напруженості поля. Питома магнітна сприйнятливність діамагнітних речовин негативна ($\chi < 0$), порядок її складає 10^{-9} м³/кг. Мінеральні домішки у вугіллі характеризуються парамагнітними властивостями, їх питома магнітна сприйнятливність позитивна і знаходиться в межах $10^{-9} - 10^{-5}$ м³/кг. Перспективним слід вважати магнітне знесірчення вугілля з видаленням піриту, який має питому магнітну сприйнятливність $\chi = 1,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, що значно вище питомої магнітної сприйнятливості інших парамагнітних домішок, напр., кварцу $\chi = 0,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

Вологоємність вугілля виявляється у його здатності поглинати вологу. Цей показник особливо важливий для характеристики розмокання порід. Оскільки процеси збагачення здійснюються в основному у водному середовищі розмокання обумовлює шламоутворення, чистоту оборотної води і інші параметри технологічного процесу.

Змочуваність вугілля визначається крайовим кутом змочування, що змінюється від 0 до 180°. Малі значення крайового кута змочування мають добре змочувані (гідрофільні) поверхні частинок. Навпаки, частинки, поверхня яких слабо утримує воду, є гідрофобними. Чиста вугільна речовина гідрофобна, а мінеральні домішки – гідрофільні. На властивості змочуваності заснований флотаційний метод, що широко використовується для збагачення багатьох корисних копалин, в тому числі і вугілля.

Хімічні властивості

Елементний склад (вміст вуглецю C°, водню H°, кисню O° і азоту A°) є загальноприйнятою характеристикою органічної маси вугілля. За даними елементного складу можна з достатнім ступенем точності визначити теплоту згоряння, теоретичну температуру горіння і склад продуктів горіння, вихід продуктів термічного розкладу і ступінь вуглефікації. Результати елементного аналізу звичайно перераховують на беззольну масу за формулою:

$$X^{daf} = 100 X^a / [100 - (W^a + A^a + S_t^d)] , \quad (2.4)$$

X^{daf} - вміст елемента на беззольну масу, %

де X^a - вміст елемента, % ; W^a - вологість вугілля, % ; A^a - зольність вугілля, % ; S_t^d - загальний вміст сірки, % .

Вугілля, нагріте до високих температур без доступу повітря, розкладається з утворенням рідких і газоподібних продуктів (в основному вуглеводнів), які називаються *леткими речовинами*. Твердий продукт, що виникає в результаті термічного розкладу вугілля, називається *коксом залишком* або *корольком*. Вміст і склад летких речовин залежать від термічної дії (температури і тривалості нагріву). Вихід летких речовин розраховують на беззольну масу за формулою:

$$V^{daf} = 100V^a / [100 - (W^a + A^a)] , \quad (2.5)$$

де V^a - вихід летких речовин, %.

Вихід летких речовин залежить від стадії метаморфізму. В багатьох класифікаціях від використовується як параметр, що характеризує стадію метаморфізму і промислову марку вугілля.

Питома теплота згоряння вугілля є основним енергетичним показником якості вугілля. На практиці користуються показником питомої теплоти згоряння робочої маси Q_i^r або горючої маси Q_i^{daf} палива. Показник Q_i^{daf} служить не тільки теплотехнічним параметром, але і характеристикою стадії метаморфізму і складу органічної маси вугілля. Розрізняють вищу Q_i і нижчу Q_s питомі теплоти згоряння вугілля, які зв'язані рівнянням:

$$Q_i^r = Q_s^r - 24,62(W_t^r + 8,94H^r), \text{ кДж/кг}, \quad (2.6)$$

де W_t^r - вміст води в вихідному вугіллі, %; H^r - вміст водню в вихідному вугіллі, %.

Вища питома теплота згоряння включає в себе теплоту утворення азотної і сірчаної кислот. Нижча питома теплота згоряння відрізняється від вищої витратою тепла на випарування води палива і води, що утворюється при його горінні. З використанням елементного складу палива вища питома теплота згоряння визначається за формулою Д.І.Менделєєва:

$$Q_s = 4,18[81C_t + 300H_t - 26(O - S)_t], \text{ кДж/кг}. \quad (2.7)$$

Питома теплота згоряння вугілля змінюється у великих межах і залежить як від властивостей вугільної речовини, так і від його воло-

гості і зольності. Зі збільшенням вологості і зольності вугілля їх питома теплота згоряння різко знижується, так як при цьому знижується вміст горючої маси.

Неорганічні компоненти вугілля представлені різними мінералами, основні з яких силікати, оксиди, карбонати і сульфіді.

Вміст мінеральних домішок у вугіллі характеризують *зольністю*, яка є основним показником якості. Цим показником оцінюється вугілля, що надходить з шахт, вугільна шихта, продукти збагачення. Це універсальний показник для оцінки якості коксівного і енергетичного вугілля.

Найбільш шкідливою домішкою у вугіллі є *сірка*, яка знаходиться у вигляді різних мінеральних сполук (піриту, марказиту, сульфатів заліза і кальцію). Донецьке вугілля містить сірки від 0,4 до 9,5 %. Звичайно сірчистість вугілля, як і зольність зростає зі збільшенням густини фракцій.

Петрографічний склад

Викопне вугілля неоднорідне за своїм складом і будовою. Макроскопічно розрізняємі складні частини вугілля, які мають однорідний блиск і будову, у вуглепетрографії називають *інгредієнтами* (в міжнародній класифікації – *макролітотипами*). Розрізняють чотири генетичних типи інгредієнтів: вітрен, кларен, дюрен і фюзен.

Вітрен – один з головніших інгредієнтів вугілля. Він є носієм основних властивостей вугілля і зустрічається у вигляді лінз, шарів, а іноді цілих пачок вугільного пласта. Характерні ознаки: сильний блиск, однорідність складу, монолітна склуквата структура, раковистий або згладжений злом, тріщинуватість поперек напластування. Вітрен у порівнянні з іншими інгредієнтами звичайно найменш зольний.

Кларен має сильний блиск і неоднорідний склад, що надає йому смугасту текстуру. В будові прошарків чергуються смуги блискучого і більш тьмяного вугілля. В цьому інгредієнті переважають блискучі складові. У неоднорідному вугіллі утворює смуги різної товщини, іноді складає суцільні пласти вугілля.

Дюрен – тверде вугілля з зернистим або нерівним зломом і неінтенсивним блиском, звичайно містить включення тонкодисперсної мінеральної речовини. Дюрен утворює шари різної потужності, а інколи в цілому пласти. Щільний, твердий, часто в'язкий, блиск маслянистий, колір сірий або сіро-чорний, злам нерівний з шорсткими поверхнями.

Фюзен має характерний шовковистий блиск і волокнисту або сажисту будову. Він зустрічається у вигляді лінз, гнізд, прошарків. Пористий, м'який і крихкий фюзен за зовнішнім виглядом нагадує дере-

вне вугілля і звичайно містить велику кількість мінеральних включень.

Вихідний матеріал, його біохімічні і геохімічні перетворення в різних умовах обумовили формування численних однорідних за своїми оптичними і фізико-хімічними властивостями мікрокомпонентів вугілля.

Мікрокомпоненти кам'яного вугілля за генетичними і фізичними ознаками об'єднані в групи вітриніту Vt, семівітриніту Sv, фюзиніту F, ліптиніту L, альгініту Alg, мікстиніту M, мінеральних домішок Ml. Основною характеристикою мікрокомпонентів є їх відбивна здатність і структура. Крім того, всі мікрокомпоненти відрізняються один від одного за фізичними і хімічними властивостями (густиною, хімічним складом, теплотою згоряння, спікливістю, виходом летких речовин та іншими показниками). Так, мікрокомпоненти групи вітриніту характеризуються підвищеним виходом летких речовин, а мікрокомпоненти групи фюзиніту – мінімальним. У коксівного вугілля мікрокомпоненти групи вітриніту добре спікаються, мікстиніт і семівітриніт злегка розм'якшуються, фюзиніт не спікається. Мікрокомпоненти останніх трьох груп поведуть себе як піснувата домішка. Тому однаково метаморфізоване вугілля, що має різний петрографічний склад, помітно відрізняються одне від одного за технологічними властивостями.

Відмінності у властивостях мікрокомпонентів пов'язані як з вихідним матеріалом рослинних залишків, так і з умовами хімічного перетворення органічної речовини на торф'яній стадії, що визначає ступінь відновлення вугілля. У результаті метаморфізму хімічні і фізичні властивості мікрокомпонентів вугілля змінюються. Неоднаковість у первинному рослинному матеріалі, мікрокомпонентному складі, типах відновлення і стадії метаморфізму обумовили велике різноманіття вугілля в родовищах.

Петрографічний склад вугілля необхідно враховувати при визначенні оптимальної межі його дроблення, збагачення і способів подальшої технологічної переробки.

2.3 ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВУГІЛЛЯ

Якість вугілля і продуктів збагачення визначається виходом летких речовин, питомою теплотою згоряння, вологістю, зольністю і вмістом сірки.

Вихід летких речовин є однією з класифікаційних ознак марки вугілля і характеристикою його технологічної придатності. Для коксівного вугілля він визначає вихід коксу і хімічних продуктів коксуван-

ня, для енергетичного – є характеристикою реакційної здатності і займистості палива. Вихід летких речовин залежить від виду горючого матеріалу і стадії метаморфізму. Так для торфу вихід летких речовин складає близько 70 %, для бурого вугілля – до 50 %, для кам'яного вугілля – 50 – 8 %, для антрацитів – 9–2%.

Питома теплота згоряння – кількість тепла, що виділяється при повному згорянні 1 кг палива. Це найважливіший показник характеристики палива. Питома теплота згоряння кам'яного вугілля Донбасу складає 30,5 – 36,8 МДж / кг.

Вологість у вугіллі шкідливо впливає на процес коксування, вона знижує вихід коксу і продуктивність коксових печей, сприяє їх руйнуванню, погіршує умови роботи хімічних цехів. Вологість вугілля і вугільних концентратів повинна бути не більше 8 % . Підвищення вологості вугілля на 1 % знижує його ціну на 1,5 % .

Зольність вугілля для коксування як правило не повинна перевищувати 8 %. Збільшення зольності коксу на 1 % тягне за собою його перевитрати на виплавку чавуну в доменній печі на 2,5 % і зниження продуктивності печі на 4 %. В енергетичному вугіллі підвищена зольність приводить до зниженню теплоти згоряння. Вугілля, що використовується для виробництва синтетичного бензину, повинно мати зольність не більше 5 – 6 % при вологості 2 %; для виготовлення електродів потрібне вугілля з зольністю, що не перевищує 2–3 %. Підвищення зольності вугілля на 1 % знижує його ціну на 2,5 % .

Сірка, що міститься у вугіллі майже повністю переходить в кокс і потім в метал. Сірка робить метал червоноламким і нековким, підвищує його схильність до корозії. Збільшення вмісту сірки в коксі на 1 % підвищує його витрати на 17 % , при цьому продуктивність доменної печі знижується на 16 %.

В результаті збагачення вугілля його зольність, сірчистість і вологість можуть бути значно знижені і доведені до кондицій, що задовольняють відповідних споживачів.

2.4 КЛАСИФІКАЦІЯ ВУГІЛЛЯ

Промислова класифікація вугілля

Промислова класифікація передбачає розподіл вугілля на марки і групи залежно від їхніх фізико-хімічних властивостей і можливості використання для технологічних та енергетичних цілей.

Поділ вугілля на марки здійснюється за Стандартом України ДСТУ 3472-96 “Вугілля буре, кам’яне та антрацит”. Як класифікаційні параметри прийняті значення середнього показника відбивання вітриніту R_0 , виходу летких речовин V^{daf} , теплоти згоряння на сухий беззольний Q_s^{daf} або вологий беззольний Q_s^{af} стан та спікливості, яка оцінюється товщиною пластичного шару Y та індексом Рога RI . Вугілля України поділяють на марки відповідно з табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Промислова класифікація вугілля за ДСТУ 3472-96

Марка вугілля	Позначення	$R_0, \%$	$V^{daf}, \%$	$Y, \text{мм}$	RI	$Q_s^{daf}, \text{МДж/кг}$
Буре	Б	<0,40	50-70	-	-	<24,0
Довгополуменеве	Д	0,40-0,60	35-50	<6	-	-
Довгополуменеве газове	ДГ	0,50-0,80	35-48	6-9	-	-
Газове	Г	0,50-1,00	33-46	10-16	-	-
Жирне	Ж	0,85-1,20	28-36	17-38	-	-
Коксівне	К	1,21-1,60	18-28	13-28	-	-
Піснувате спікливе	ПС	1,30-1,90	14-22	6-12	13-50	-
Пісне	П	1,60-2,59	8-18	<6	<13	35,2-35,6
Антрацит	А	2,60-5,60	<8	-	-	<35,2

Відповідно до класифікаційних параметрів вугілля розділяють на марки і групи. При цьому вугілля однойменних марок і груп різних басейнів мають неоднакові межі класифікаційних параметрів. Тому вугілля різних басейнів з однаковими параметрами при технологічному використанні може давати різний за фізико-механічними властивостями продукт.

Класифікація вугілля за крупністю

Основна маса вугілля, яка використовується у коксохімічному виробництві, відвантажується споживачам у нерозсортованому вигляді. Однак у деяких випадках з них виділяють крупні класи для енергетичних цілей, а відсів направляють на коксування.

Енергетичне вугілля і антрацити, поряд з іншими показниками, характеризується ще й крупністю.

Класифікація за крупністю наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Класифікація вугілля за крупністю

Найменування класів	Позначення	Крупність, мм	
		стандартна	допустима
Плитне	П	100-200	80-200
Крупне	К	50-100	40-80
Горіх	Г	25-50	20-40
Дрібне	Д	13-25	10-20
Сім'ячко	С	6-13	5-10
Штиб	Ш	0-6	0-5
Рядове	Р	0-200	0-200

Допускаються проміжні (об'єднані) класи ПК (плитне крупне), КГ (крупний горіх), ГД (горіх дрібний), ДС (дрібне з сім'ячком). При співвідношенні між нижньою і верхньою межею крупності не більше 1:4 допускаються і класи СШ (сім'ячко зі штибом), ДСШ (дрібний з сім'ячком і штибом), ГДСШ (горіх із дрібним, сім'ячком і штибом).

На підприємствах з відкритим способом видобутку верхня межа крупності в рядовому і плитному вугіллі може бути збільшена до 300 мм.

Міжнародна класифікація вугілля

Міжнародна класифікація вугілля була прийнята у 1954 р. Комітетом по вугіллю Європейської економічної комісії ООН. Згідно з цією класифікацією вугілля з вищою теплотою згоряння вологої беззольної маси до 23826 кДж/кг належать до бурого, а вугілля з більшою теплою згоряння – до кам'яного і антрацитів. Ця класифікація охоплювала вугілля кам'яне і антрацити і виконувалася за виходом летких речовин на суху беззольну масу V^{daf} , теплотою згоряння Q_s^{daf} , спікливістю і коксівністю вугілля. У 1988 р. Європейська економічна комісія затвердила нову систему міжнародної кодифікації вугілля середнього та високого рангів (кам'яного і антрацитів). За цією класифікацією до бурого відносять вугілля з вищою теплотою згоряння вологої беззольної маси до 24000 кДж/кг.

Застосовується спеціальна система кодування значень показників, що характеризують вугілля. Крім зазначених показників система кодифікації передбачає можливість використання для характеристики вугілля і додаткових показників у відповідності з домовленістю постачальника і покупця. В результаті вивчення вугілля складається сертифікат, який характеризує його метаморфізм, мацеральний склад та технологічні властивості.

Набір основних ознак, якими повинно характеризуватися вугілля, наведено в табл. 2.3.

Якщо для характеристики вугілля використовуються додаткові показники, то вони також включаються у сертифікат, але не кодуються.

Таблиця 2.3 – Ознаки, що характеризують вугілля

Показники	Індекси	Номер цифр у коді вугілля	Міжнародні стандарти для визначення показників
Середній показник відбиття вітриніту	R_o	1, 2	7404-1984
Характеристика рефлектограми	-	3	7404-1984
Мацеральний склад:			
- вміст інертиніту	I	4	7404-1984
- вміст ліптиніту	L	5	7404-1984
Індекс вільного спучування	SI	6	500-1984 562-1984
Вихід летких речовин на сухе беззольне паливо	V^{daf}	7, 8	1170-1977
Зольність на суху масу	A^d	9, 10	1171-1984
Вміст сірки на суху масу	S_t^d	11, 12	334-1975
Вища теплота згоряння на суху беззольну масу	Q_s^{daf}	13, 14	1923-1976

Якщо дані за яким-небудь параметром не визначаються або відсутні, то в коді ставиться знак “х”, в тому випадку, коли код мав складатися з однієї цифри або “хх”, якщо з двох цифр.

Класифікація вугілля за збагачуваністю

На сьогодні оцінку збагачуваності вугілля і класифікацію його за цією ознакою виконують за ГОСТ 10100-84. Відповідно до цього стандарту показник збагачуваності T визначається як відношення сумарного виходу проміжних фракцій до виходу безпородної маси.

$$T = 100\gamma_{nn} / (100 - \gamma_n), \%, \quad (2.8)$$

де γ_{nn} – вихід проміжних фракцій (густиною 1400 (1500) – 1800 кг/м³ – для кам’яного вугілля і 1800 – 2000 кг/м³ – для антрацитів), γ_n – вихід породних фракцій (густиною більше 1800 кг/м³ – для кам’яного вугілля і більше 2000 кг/м³ – для антрацитів).

Залежно від значення показника збагачуваності вугілля і антрацити підрозділяються на категорії збагачуваності від легкої до дуже

важкої. Поділ вугілля по категоріях збагачуваності наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Класифікація вугілля за збагачуваністю

Ступінь збагачуваності	Категорія збагачуваності	Показник збагачуваності, Т %
Легкий	1	До 5 включно
Середній	2	Більше 5 до 10 вкл.
Важкий	3	Більше 10 до 15 вкл.
Дуже важкий	4	Більше 15

Відповідно до категорії збагачуваності вибирають технологічні процеси і схему переробки вугілля.

Контрольні запитання

1. *утворювалося вугілля?* Як
2. *інгредієнтів складається вугілля?* З яких
3. *шіть фізичні властивості вугілля (густина, механічна міцність, змочуваність, оптичні і ін.).* Опи-
4. *шіть хімічні властивості вугілля (елементарний склад, питома теплота згоряння і ін.).* Опи-
5. *зники якості вугілля (вихід летких речовин, питома теплота згоряння, вміст води, золи, сірки).* Пока-
6. *марки розділяють вугілля за вітчизняною промисловою класифікацією?* На які
7. *параметри використані міжнародною класифікацією для оцінки вугілля?* Які
8. *сифікація вугілля за збагачуваністю.* Кла-

3. ЗАЛІЗНІ РУДИ

Мета розділу: вивчення процесів походження і властивостей залізної руди.

Великі запаси залізних руд є в Україні, РФ, Казахстані, Бразилії (34 млрд. т), Канаді (26), Австралії (21), США (17), Індії (13), ПАР (9), Швеції (4,5) і Франції (4). За прогнозами Римського клубу (2000 р) запаси залізних руд будуть вичерпані на Землі (в земній корі, ноокларк) за наступні 173 роки.

Україна займає одне з провідних місць у світі за запасами і видобутком залізних руд, які зосереджені у Криворізькому і Керченському залізорудних басейнах, Криворізько-Кременчуцькій, Білозерсько-Оріхівській, Одесько-Білоцерківській металогенічних зонах, Приазовській і Придніпровській металогенічних областях. Розвідані запаси залізних руд України складають – 40,1 млрд. т, прогнозні – 30,4 млрд. т, потенційні – 133,5 млрд. т.

Залізні руди – природні мінеральні утворення з вмістом заліза у таких кількостях, при яких його економічно вигідно видобувати. Головні рудні мінерали залізних руд такі: оксиди заліза – магнетит, гематит, мартит; гідрооксиди – гетит і гідрогетит; карбонати – сидерит і сидероплезит; силікати – шамозит і тюрингіт.

Загалом відомо понад 300 мінералів, що містять залізо: оксиди, сульфідів, силікати, фосфати, карбонати та ін. Найважливіші мінерали заліза: магнетит Fe_2O_4 (72,4% Fe), гематит Fe_2O_3 (70% Fe), гетит FeOOH (62,9% Fe), лепідокрокіт $\text{FeO}(\text{OH})$ (62,9% Fe), лімоніт - суміш гідрооксидів Fe з SiO_2 та ін. речовинами (40-62% Fe), сидерит FeCO_3

(48,2% Fe), ільменіт FeTiO_3 (36,8% Fe), шамозит (34-42% FeO), вівіаніт (43,0% FeO), скородит (34,6% Fe_2O_3), ярозит (47,9% Fe_2O_3) та ін.

Вміст заліза в рудах – від 10 до 72 %. Бідні руди (до 46 % заліза) потребують збагачення. Залізні руди містять різні домішки: корисні – нікель, кобальт, марганець, вольфрам, молібден, хром, ванадій і ін. і шкідливі – сірка, фосфор, цинк, свинець, арсен, мідь.

Родовища залізних руд промислового значення пов'язані з ендогенною, екзогенною та метаморфогенною серіями. Серед них за генезисом виділяють магматичні, карбонатні, скарнові, вулканогенні гідротермальні, вулканогенно-осадові, кори вивітрювання, осадові, метаморфогенні родовища.

Промислові типи руд класифікуються залежно від рудного мінералу, що переважає.

Магнетитові руди складені магнетитом, вони найбільше характерні для карбонатитових, скарнових і гідротермальних родовищ. З карбонатитових родовищ попутно вилучають апатит і баделейт, зі скарнових – сульфіді кольорових металів і пірит, що містить кобальт. Особливим різновидом являються титаномagnetитові руди магматичних родовищ. Магнетитові руди містять до 72 % заліза.

Гематитові руди складені головним чином гематитом і в меншому ступені магнетитом. Вони поширені в корі вивітрювання залізистих кварцитів, в скарнових, гідротермальних і вулканогенних осадових рудах. Багаті гематитові руди містять 55 – 65 % заліза і 15 – 18 % марганцю.

Сидеритові руди підрозділяються на кристалічні сидеритові руди і глинисті шпатові залізняки. Вони зустрічаються в гідротермальних і вулканогенних осадових родовищах. Вміст заліза в сидеритових рудах 30-35 %. Після випалювання сидеритових руд в результаті видалення CO_2 , одержують тонкопористі залізооксидні концентрати, які містять 1-2 %, а іноді до 10 % марганцю. В зоні окиснення сидеритові руди перетворюються в бурі залізняки.

Силікатні залізні руди складені залізистими хлоритами (шамозитом, тюрингітом і ін.), які супроводжуються гідрооксидами заліза, іноді сидеритом. Середній вміст заліза в рудах складає 25-40 %, домішка сірки – незначна, фосфору – до 1 %. Вони часто мають оолітову текстуру. В корі вивітрювання силікатні руди перетворюються в бурі, іноді в червоні (гідрогематитові) залізняки.

Бурі залізняки складені гідрооксидами заліза, найчастіше гідрогетитом. Бурі залізняки утворюють осадові поклади (морські і континентальні) і родовища кори вивітрювання. Осадові руди часто мають оолітову текстуру. Середній вміст заліза в рудах складає 30-35 %. В бурих залізняках деяких родовищ міститься до 1-2 % марганцю. В природно-легованих бурих залізняках, що утворилися в корах вивітрювання ультраосновних порід, міститься 32-48 % заліза, до 1 % нікелю, до 2 % хрому, соті частки кобальту і ванадію. З таких руд без домішок виплавляються хромонікелеві чавуни і низьколегована сталь.

Залізисті кварцити складені тонкими кварцовими, магнетитовими, гематитовими, магнетит-гематитовими і сидеритовими прошарками, що чергуються, місцями в прошарках є домішки силікатів і карбонатів. Руди характеризуються вмістом заліза від 12 до 36 % і низьким вмістом шкідливих домішок (вміст сірки і фосфору складає соті частки відсотка). Родовища цього типу мають унікальні (більше 10 млрд. т) або крупні (більше 1 млрд. т) запаси руди. В корі вивітрювання кремнезем виноситься і утворюються крупні поклади багатих гематито-мартитових руд.

Найбільші запаси і обсяги добування припадають на залізисті кварцити і утворені по ним багаті залізні руди, менше поширені осадові бурозалізнякові руди, а також скарнові, гідротермальні і карбонатитові магнетитові руди.

За вмістом заліза розрізняють *багаті* (більше 50 % заліза, а кремнезему менше 8...10%, сірки та фосфору менше 0,15%) і *бідні* (менше 25 % заліза) руди, які потребують збагачення. Для якісної характеристики *багатих руд* важливе значення має вміст і співвідношення нерудних домішок (шлакоутворюючих компонентів), що виражається *коєфіцієнтом основності* і *кремневим модулем*. За величиною кремневого модуля (відношення суми вмістів оксидів кальцію і магнію до суми оксидів кремнію і алюмінію) залізні руди і їх концентрати підрозділяються на кислі (менше 0,7), самофлюсуючі (0,7 – 1,1) і основні (більше 1,1). Кращими є самофлюсуючі руди, кислі в порівнянні з основними потребують введення в доменну шихту підвищеної кількості вапняку (флюсу). За величиною кремневого модуля (відношення вмісту оксиду кремнію до вмісту оксиду алюмінію) використання залізних руд обмежується типами руд з модулем нижче 2. До *бідних руд*, що потребують збагачення, відносять титаномagnetитові, магнетитові руди, а також магнетитові кварцити з вмістом заліза магнети-

тового більше 10-20 %; мартитові і гематитові руди і гематитові кварцити з вмістом заліза більше 30 %; сидеритові і гідроgetитові руді з вмістом заліза більше 25 %. Нижня межа вмісту заліза спільного і магнетитового для кожного родовища з урахуванням його масштабів, гірничотехнічних і економічних умов установлюється кондиціями.

Руди, що потребують збагачення підрозділяються на *легкозбагачувані* і *важкозбагачувані*. Збагачуваність руд залежить від їх мінерального складу і текстурно-структурних особливостей. До *легкозбагачуваних руд* належать магнетитові руди і магнетитові кварцити, до *важкозбагачуваних* – залізні руди, в яких залізо зв'язане з приховано-кристалічними і колоїдальними утвореннями. В цих рудах при подрібненні не вдається розкрити рудні мінерали через їх надто дрібні розміри і тонкого пророщення з нерудними мінералами. Вибір способів збагачення визначається мінеральним складом і фізико-механічними властивостями руд, їх текстурно-структурними особливостями, також характером нерудних мінералів. Збагачення залізних руд здійснюється за магнітними, магнітно-гравітаційними і магнітно-флотаційними технологічними схемами, які забезпечують одержання кондиційних концентратів з вмістом заліза до ~70 %.

За способом рудопідготовки і застосуванням у виробництві розрізняють *мартенівські* і *доменні* руди. До *мартенівських руд*, що безпосередньо використовуються для виплавки сталі, відносять магнетитові, мартитові, гематитові і гідрогематитові з вмістом заліза більше 57 %, сірки і фосфору менше ніж 0,15 % кожного, кремнезему (SiO_2) не більше 5 %, міді, цинку, свинцю, олова, арсену, нікелю і хрому не більше 0,04 % кожного, марганцю менше 0,5 % при мартенівській плаві і менше 2 % при конверторній і електродуговій. Вміст крупного класу руди з розміром грудок від 10 до 250 мм, що завантажується в сталеплавильні агрегати, повинен бути не менше 70 %. До *доменних руд* відносять магнетитові, мартитові і гематитові з вмістом заліза більше 50 %, а також гідрогематитові і гідроgetитові з вмістом заліза більше 45 %. Вміст сірки і фосфору не повинен перевищувати 0,3 % кожного, міді – 0,2 %, свинцю і цинку 0,1 % кожного, оксиду олова – 0,08 %, арсену – 0,07 %. Вміст крупного класу руди з розміром грудок від 10 до 100 мм, що завантажується в доменну піч, повинен бути не менше 70 – 75 %. Дріб'язок (0 – 10 мм) і грудкові руди з підвищеним вмістом сірки (вище кондиційного) поступають на агломерацію.

Більша частина залізних руд використовується для виплавки чавуну. Невелика кількість застосовується як природні фарби (вохри) і обважнювачі бурових глинистих розчинів.

Контрольні запитання

1.	Еле-
ментарний склад залізних руд.	
2.	Типи
залізних руд.	
3.	Якіс-
на характеристика залізних руд.	
4.	Від-
мінності залізних руд за збагачуваністю.	
5.	Пока-
зники, що характеризують залізні руди.	

4. ГІРНИЧА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Мета розділу: вивчення основних способів
і засобів видобутку корисних копалин.

4.1 ГАЛУЗІ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Гірнича промисловість – сукупність галузей виробництва, що займається розвідкою і добуванням корисних копалин (гірничодобувна промисловість), а також їх первинною переробкою з одержанням напівфабрикату (гірничообробна промисловість). В гірничій промисловості виділяються такі основні групи галузі:

- *мінеральної енергетичної сировини* (нафтова, газова, вугільна, торф'яна, сланцева, уранова промисловість, геотермія);
- *руд чорних і легуючих металів* (залізорудна, марганцеворудна, хромітова, вольфрамова, молібденова, ванадієва промисловість);
- *руд кольорових металів* (алюмінієва, мідна, нікелева, сурм'яна, свинцево-цинкова, олов'яна промисловість);

– *гірничохімічна промисловість* (добування апатиту, калійних солей, нефеліну, селітри, сірчаного колчедану, борних руд, фосфатної сировини);

– *нерудної індустріальної сировини і будівельних матеріалів* (добування графіту, азбесту, гіпсу, глини, граніту, доломіту, вапняку, кварцу, каоліну, мергелю, крейди, польового шпату, коштовного каміння);

– *гідромінеральна* (добування мінеральних підземних вод).

Розвиток гірничої промисловості обумовлений як природними (наявність в надрах достатніх ресурсів корисної копалини потрібної якості), так і соціально-економічними факторами (наявність робочої сили, житла, транспорту, енергетики і ін.).

Подальший прогрес гірничої промисловості зв'язаний як з розвитком традиційних методів добування і первинної переробки мінеральної сировини, що дозволяють підвищити масштаби і ступінь вилучення, так і з впровадженням принципово нових технологічних схем і рішень (напр., безлюдна виїмка корисних копалин, створення комплексів для розробки залізо-марганцевих конкрецій на дні океанів, для вилучення металів з морської води і ін.).

4.2 СПОСОБИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Розробка родовищ корисних копалин – комплекс взаємозв'язаних процесів гірничого виробництва по вилученню корисних копалин з надр Землі. Основних способів розробки родовищ корисних копалин чотири:

– *підземний (шахтний)*, який здійснюється за допомогою підземних гірничих виробок;

– *відкритий (кар'єрний)*, який здійснюється за допомогою відкритих гірничих виробок;

– *свердловинний*, який здійснюється за допомогою системи експлуатаційних бурових свердловин;

– *морський*, який пов'язаний з роботами нижче рівня моря.

Традиційно перші два способи застосовуються для видобутку твердих корисних копалин, свердловинний – для рідких і газоподібних. Крім того, видобуток високов'язких нафт ведеться відкритим і шахтним способами, перспективним є шахтний видобуток важких нафт з раніше відпрацьованих свердловинами родовищ. У останні роки активно розвивається свердловинний спосіб підземного вилучування

твердих корисних копалин. Застосовують також підземне розчинення солей із застосуванням свердловин.

Перспективи розробки родовищ корисних копалин пов'язані з безлюдною виїмкою, утилізацією всіх мінеральних компонентів і промисловим використанням підземних порожнин.

Основна мета розробки родовищ корисних копалин – забезпечення сировиною, необхідною для промислового виробництва. При розробці родовищ корисних копалин необхідно найбільш повно вилучати корисну копалину з надр, максимально використовувати всі компоненти при мінімальних затратах на виробництво.

У світовій практиці відкритим способом добувають 60 % металічних і 85 % неметалічних руд, 35 % вугілля і близько 100 % нерудних копалин. Зростають обсяги видобутку нафти у водах Світового океану (близько 30% всього видобутку). Перспективний об'єкт промислової переробки – високомінералізована морська вода.

4.2.1 Підземний спосіб розробки родовищ корисних копалин

Підземна розробка родовищ корисних копалин – спосіб добування корисної копалини в надрах Землі без порушення денної поверхні шляхом проведення системи підземних гірничих виробок. Підземна розробка здійснюється шахтами. *Шахта* – гірничопромислове підприємство, що добуває корисну копалину підземним способом і відвантажує її безпосередньо споживачу або на збагачувальну фабрику (рис. 4.1). В процесі підземної розробки виділяють три стадії: розкриття, підготовка і експлуатація (очисна виїмка).

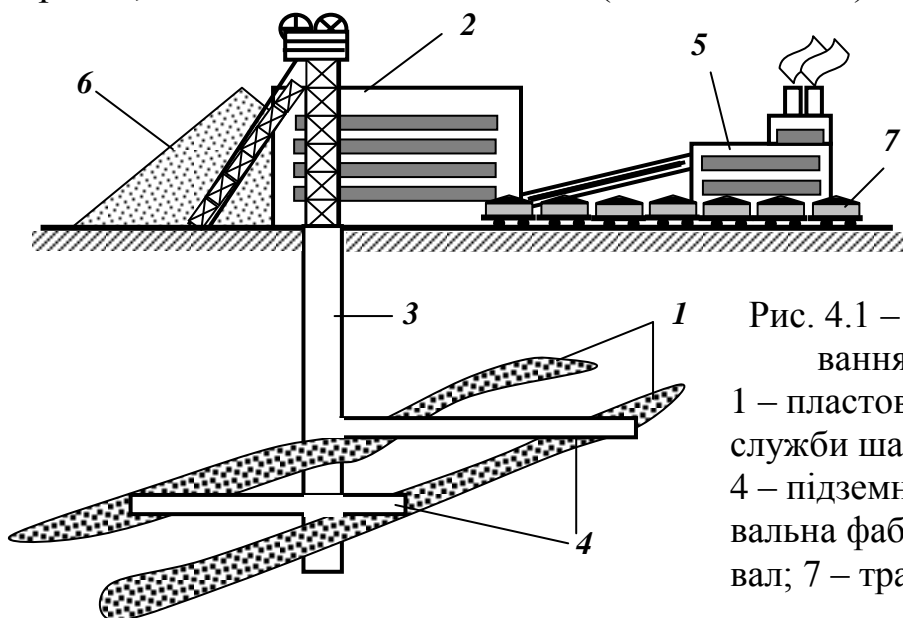


Рис. 4.1 – Підземний спосіб добування корисних копалин.

1 – пластове родовище; 2 – наземні служби шахти; 3 – шахтний ствол; 4 – підземні виробки; 5 – збагачувальна фабрика; 6 – породний відвал; 7 – транспорт.

Необхідною умовою здійснення гірничих робіт є відокремлення корисної копалини від масиву, яке виконується механічним і гідромеханічним (прохідницькі комбайни) гідравлічним (гідромонітори), і буро-підричним (вибухівка) способами.

Розкриття родовища за допомогою капітальних гірничих виробок забезпечує доступ до родовища з поверхні землі і можливість підготовки родовища (або його частини) до розробки. Розкриття родовища здійснюється вертикальними і похилими стволами (стовбурами), штольнями.

Підготовка полягає в проведенні підготовчих виробок, що забезпечують доступ до очисних вибоїв, їх провітрювання, водовідлив, енергопостачання, транспорт корисної копалини, людей, устаткування, матеріалів і ін. Підготовка запасів корисної копалини починається відразу ж після розкривних робіт, а закінчується проведенням виробок, що дозволяють почати експлуатацію (очисні роботи).

Експлуатація – проведення робіт, що безпосередньо пов'язані з виїмкою корисної копалини, транспортуванням її гірничими виробками і відвантаження споживачам. Виїмку тонких пластів і пластів середньої потужності виконують відразу на повну товщину, а потужні пласти виймають пошарово. Транспорт добутої корисної копалини на денну поверхню здійснюється конвеєрами, вагонетками, клітьми, скіпами.

Найбільш поширена галузева класифікація систем підземної розробки корисних копалин: I. Системи розробки без розділення на шари: суцільні за простяганням, за підняттям (падінням); стовпові – довгими стовпами, короткими стовпами, довгими стовпами за підняттям (падінням), щитові; камерні; комбіновані – камерно-стовпова, парними штреками, суцільна з елементами стовпової, стовпова з елементами суцільної. II. Системи розробки з розділенням на шари: горизонтальними шарами; похилими шарами; поперечно-похилими шарами; діагональними шарами; комбінована з гнучким перекриттям.

Підземний спосіб застосовується для добування корисних копалин, що залягають на великих глибинах, в густонаселених районах, а також при наявності цінних ландшафтів.

4.2.2 Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин

Відкрита розробка родовищ корисних копалин – спосіб добування корисної копалини з поверхні Землі за допомогою відкритих гірничих виробок. Відкрита розробка здійснюється кар'єрами. *Кар'єр* – гірниче підприємство по добутку корисної копалини відкритим способом. Кар'єр являє собою систему уступів (звичайно верхні – породні або розкривні, нижні – добувні), посування яких забезпечує виїмку гірничої маси (рис. 4.2).

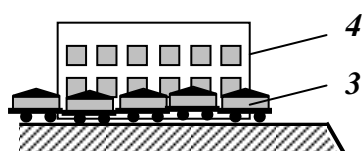
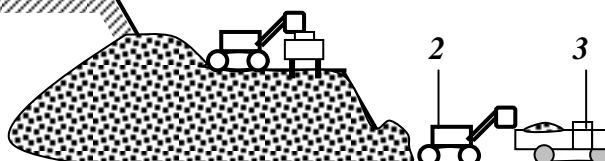


Рис. 4.2 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин.

- 1 – поклад корисної копалини;
- 2 – добувні і вантажні роботи;
- 3 – транспорт; 4 – збагачувальна фабрика.



Основні технологічні процеси відкритої розробки включають: підготовку корисної копалини до виїмки, відділення корисної копалини від масиву механічним або вибуховим рихленням, відвантаження корисної копалини в транспортні засоби, транспортування корисної копалини залізничним, автомобільним, конвеєрним гідротранспортом або канатними дорогами, розміщення пустих порід у відвалах. Сучасні кар'єри – високомеханізовані підприємства, що оснащені продуктивними машинами і механізмами для виїмки, дроблення, транспортування і складування гірських порід. На розкритті застосовуються драглайни з місткістю ковша до 125-168 м³. На виїмці корисних копалин використовують роторні екскаватори (з діаметром ротора до 22 м і продуктивністю до 300 тис.т/доб.) і завантажувачі (ковшові екскаватори з місткістю ковша до 40 м³). На кар'єрах з міцними породами найбільший обсяг перевезень здійснюється важкими автосамоскидами. Автосамоскиди вантажопідйомністю 100-155 т - поширений засіб транспорту завдяки їх маневреності, можливості долати круті схили. Експлуатуються і 200-300-тонні самоскиди. Для транспортування гірничої маси з кар'єру застосовують залізничні тягові агрегати зчійною масою 360 т, думпкари вантажопідйомністю до 180 т. Широко використовують конвеєрний транспорт.

Переваги відкритої розробки: висока ступінь вилучення корисної копалини з надр, можливість досягнення більшої продуктивності підприємства (в 5 – 8 разів в порівнянні з підземною розробкою), зниження собівартості добування (в 2 – 4 рази в порівнянні з підземною розробкою), поліпшення умов праці.

Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин широко застосовується в Україні, США, Австралії, Росії, Канаді, КНР, в ряді країн Європи (ФРН, Польща, Чехія). Найбільший кар'єр в Україні – Інгuleцький (видобуває до 34,8 млн.т руди на рік).

4.2.3 Свердловинний спосіб розробки родовищ корисних копалин

Свердловинна розробка родовищ корисних копалин – спосіб розкриття і експлуатації родовищ нафти, газу і розсолів, а також твердих корисних копалин, при якому вони на місці залягання переводяться в гідросуміш або газоподібний стан.

Свердловинний спосіб є основним при добуванні нафти і газу. Газовий або нафтовий промисел являє собою технологічний комплекс для добування і збору нафти або газу з площі родовища, а також їх обробки для подальшого транспортування (рис. 4.3).

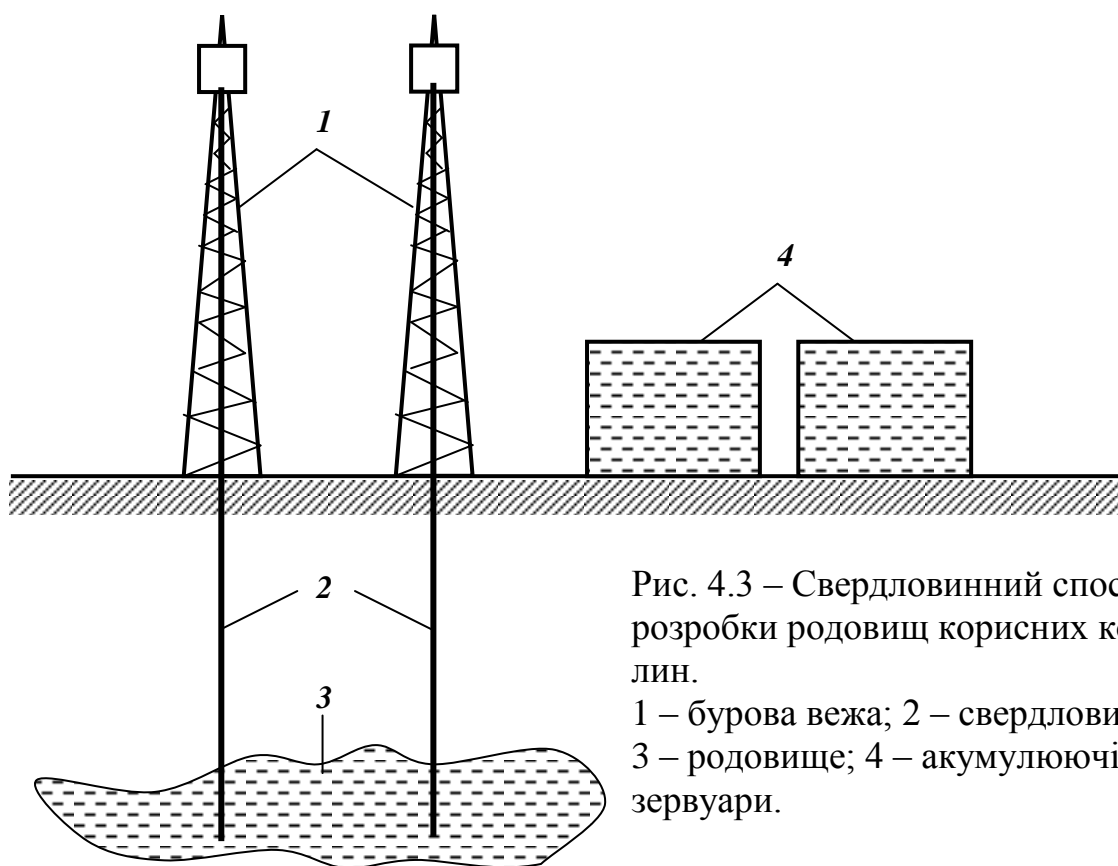


Рис. 4.3 – Свердловинний спосіб розробки родовищ корисних копалин.

1 – бурова вежа; 2 – свердловина; 3 – родовище; 4 – акумулюючі резервуари.

Добування нафти і газу забезпечується фондом експлуатаційних свердловин, число яких залежить від запасів сировини, розмірів родовища і схеми його розробки.

При свердловинному гідродобуванні твердих корисних копалин вони на місті залягання переводяться в гідросуміш. Основні технологічні процеси при свердловинному гідродобуванні твердих корисних копалин складаються з розкриття родовища свердловинами, гідравлічного руйнування копалини напірним струменем води, дезинтеграції і переведення зруйнованої маси в гідросуміш, транспортування і підйому гідросуміші на поверхню, збагачення корисної копалини, складування відходів збагачення, прояснення оборотної води і водопостачання. В зв'язку з відсутністю в очисному просторі людей і складної техніки розмив очисних камер ведеться безперервно до самого обвалення покрівлі, що дозволяє відробляти родовища з нестійкими вміщувальними породами, розробка яких традиційним підземним способом не ефективна.

Для свердловинного гідродобування перспективні всі поклади пористих, пухких, і слабо зв'язаних корисних копалин. До них належать

родовища торфу і сірки; відкладення, що містять фосфорити і марганець; розсіпні родовища олова, золота, алмазів, титану, янтарю; осадові родовища рідкісних і радіоактивних руд, м'які бокситові руди, бітумінозні пісковики, вугілля, сланці і ін.

Свердловинне гідродобування може застосовуватися як самостійний процес або в комбінації підземним вилуговуванням чи підземною виплавною.

4.2.4 Підземне вилуговування

Підземне вилуговування – спосіб розробки рудних родовищ вибіркоким переведенням корисного компонента в рідку фазу в надрах з подальшою переробкою продукційних розчинів, що містять метал. Промислове освоєння підземного вилуговування мідних руд було здійснено в США у 1919 р.

Підземне вилуговування застосовують для добування значної частки урану і міді, ведуться експериментальні роботи для застосування його для добування титану, ванадію, марганцю, заліза, кобальту, нікелю, селену, цинку, молібдену, золота і ін. Підземне вилуговування дозволяє повніше використовувати надра за рахунок залучення у виробництво бідних руд, добування і переробка яких традиційними способами нерентабельна. При підземному вилуговуванні метал вилучається шляхом йонного обміну в процесі спрямованого руху реагенту через масив руди, що має природну проникність і попередньо зруйнована різними методами або замагазинована. Головна умова успішного застосування підземного вилуговування – наявність корисного компонента в сполуках, що розчиняються в мінеральних або органічних кислотах, лугах, розчинах солей; достатня природна водопроникність руд або можливість її утворення штучно, що дозволяє здійснити подачу реагенту до руди і відкачку продукційних розчинів; можливість ефективного вилучення корисних компонентів з продукційних розчинів.

Сучасне підприємство підземного вилуговування складається з видобувного, трубопровідного комплексів і терміналу переробки розчину.

Залежно від способу розкриття відкладення розрізняють свердловинні, шахтні і комбіновані системи підземного вилуговування.

При *свердловинних системах* підземного вилуговування розкриття, підготовку і вилучення корисних компонентів у розчин здійснюють через свердловини, що пробурені з поверхні. Такими системами розробляються родовища урану, приурочені до обводнених осадових порід. Найбільшого розповсюдження набули свердловинні системи підземного вилуговування металів з руд з природною проникністю,

що не вимагають попередньої підготовки (утворення штучної тріщинуватості, проведення гідророзриву порід і ін.). Процес вилуговування здійснюється напірним фільтраційним потоком реагенту, що рухається по рудоносному водопроникному пласту від закачувальних свердловин до відкачувальних. Для родовищ, що залягають в особливо складних гірничотехнічних умовах свердловинні системи підземного вилуговування є поки що єдиною можливими системами рентабельної розробки. Перевага їх в тому, що повністю виключається присутність людей під землею.

При *шахтних системах підземного вилуговування* розкриття, підготовку родовищ і вилучення корисних компонентів в розчин здійснюють за допомогою гірничих виробок. Шахтні системи вилуговування відрізняються великою різноманітністю, вони дозволяють вести процес вилучення металів з родовищ різних генетичних типів з руд, що мають природну водопроникність, з руд, що зруйновані різними методами, і з руд, що відбиті і замаганизовані на місці залягання. Такі системи застосовують при розробці родовищ, що глибоко залягають і представлені бідними слабо проникними або практично водонепроникними рудами. При цьому у виробництво залучаються великі запаси забалансових руд, розробка яких традиційними способами нерентабельна.

Комбіновані системи підземного вилуговування знаходять все більше застосування на родовищах руд радіоактивних і кольорових металів. Комбіновані системи бувають двох класів:

- з елементів свердловинних і шахтних систем підземного вилуговування. Вони передбачають розробку родовищ з подачею реагенту до руди по свердловинах, що пробурені з поверхні, і прийомом продукційних розчинів у гірничі виробки. Такі системи застосовуються на родовищах, де з якихось причин технічно важко або нераціонально відкачувати продукційні розчини через свердловини (напр., при великій глибині п'єзометричного рівня підземних вод);

- з елементів традиційних систем розробки і шахтних систем вилуговування. Такі системи застосовуються при розробці покладів, які в межах одного блоку представлені рудами різних технологічних сортів (напр., карбонатними і силікатними), що вимагають при вилуговуванні різних реагентів; рудами, що контрастні за вмістом металу (напр., балансовими і забалансовими); рудами, що контрастні за фільтраційними властивостями, які вимагають різної підготовки до вилуговування.

Для інтенсифікації процесу підземного вилуговування в залежності від умов застосовують різні методи: хімічні (окиснювачі, поверхнево-активні речовини), бактеріальні, фізичні (електромагнітні поля, підвищення тиску і температури, гідророзрив порід, вакуумування і ін.).

4.2.5 Підземна виплавка

Підземна виплавка – свердловинний метод добування корисних копалин переводом їх в рідкий стан на місці залягання за допомогою теплоносія. Підземна виплавка застосовується для добування самородної сірки і базується на відносно низькій температурі її плавлення ($112,8 - 119^{\circ}\text{C}$).

Технологічна схема підземної виплавки включає: установки для приготування теплоносія – води з температурою 165°C ; поверхневі комунікації (трубопроводи); добувні свердловини. Свердловини обладнуються концентрично розташованими колонами для подачі теплоносія, стисненого повітря і підйому розплавленої сірки на поверхню.

Галузь застосування підземної виплавки розширюється – ведуться

роботи по освоєнню цим способом родовищ ртуті, бітумів, високов'язкої нафти і інших копалин за рахунок зміни температури теплоносія, додання в нього поверхнево-активних речовин і т.п.

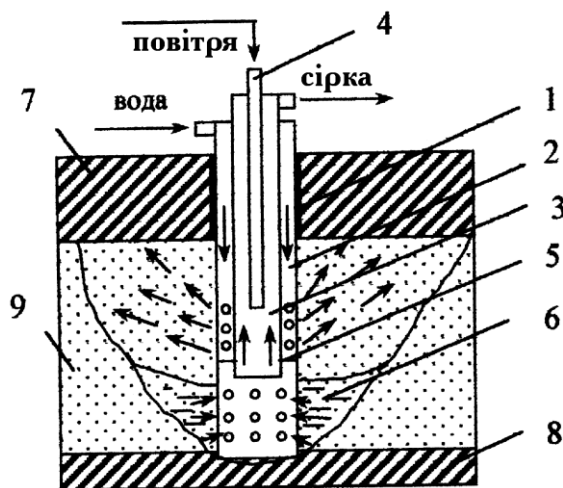


Рис. 4.4. Підземна виплавка сірки:

1 - обсадна труба; 2,3,4 - труби для подачі води, сірки та повітря; 5 - пакер; 6 - розплавлена сірка; 7,8 - шапи породи; 9 - пласт сірки.

4.2.6 Підземна газифікація і сублімація

Підземна газифікація корисних копалин – спосіб розробки родовищ корисних копалин (вугілля, сланців, сірки і інш. копалин, що містять горючі компоненти), оснований на фізико-хімічних перетвореннях корисних копалин у газоподібні і рідкі продукти за допомогою повітря, водяної пари, кисню або їх сумішей при високій температурі. Підземна газифікація – складний комплексний процес, що включає прогрівання покладу, видалення вологи і легко летких компонентів, переведення в рідку фазу легкоплавких компонентів, процеси гетерогенного і гомогенного горіння, фільтрації газів, взаємодії компонентів газової фази, механічного розтріскування і обвалення порід внаслідок температурного впливу, конденсацію летких речовин і інш. Найважливіша ознака всіх способів підземної газифікації – їх автотермічність, що дозволяє підтримувати процес без підведення тепла ззовні,

за рахунок екзотермічних реакцій частини горючих компонентів покладу з киснем дуття. Основним продуктом підземної газифікації вугілля є горючий газ; сланців і бітумів – горючий газ, рідке паливо, смоли, масла, феноли і інш. продукти; сірки – сірчистий ангідрид, рідка і пароподібна сірка.

Підземна газифікація вугілля – спосіб розробки вугільних родовищ, який оснований на фізико-хімічних перетвореннях вугілля в горючі гази в надрах (на місті залягання) за допомогою вільного або зв'язаного кисню.

Підземна газифікація вугілля включає буріння з поверхні вертикальних, похилих і похило-горизонтальних свердловин для подачі повітряного або киснево-повітряного дуття і відводу газу, що утворився, і створення в пласті між свердловинами реакційних каналів, в яких вугілля взаємодіє з потоками дуття і газу. Ці канали виконуються шляхом збійки свердловин. Трубопроводи для подачі дуття і транспортування газу, установки для дуття і охолодження газу розташовані на поверхні.

За допомогою запалювальних патронів і легкозаймистих матеріалів вугілля запалюють у вогневому штреку, формують реакційні зони і починають процес газифікації. В процесі газифікації горюча маса вугілля перетворюється на газ, а у випаленому просторі залишається зола. По мірі газифікації вугільного пласта реакційні зони переміщуються, під дією гірничого тиску відбувається зрушення порід покрівлі і заповнення ними випаленого простору.

Таким чином, в результаті ряду процесів, що протікають в реакційній зоні з вугілля одержують газ, який містить водень, оксид вуглецю, метан. Теплота згоряння і склад газу залежить від виду дуття, якості вугілля, а також від геологічних умов залягання пласта. Через високий вміст азоту і двоокису вуглецю теплота згоряння газу відносно низька. Вона складає при газифікації кам'яного вугілля на повітряному дутті – $3,8 - 5 \text{ МДж/м}^3$, на дутті, збагаченому киснем, – $6,9 - 7,5 \text{ МДж/м}^3$. За хімічним складом газ придатний для синтезу аміаку і вуглеводнів.

Основні переваги процесу газифікації вугілля: відносно невеликий обсяг підземних робіт, відсутність необхідності додаткової підготовки палива у споживача, збереження родючого шару ґрунту (відсутність відвалів і ін.), чистота повітряного басейну, низька вартість палива (в

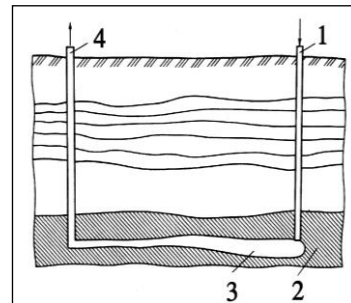


Рис. 4.5.
Принципова схема
підземної
газифікації вугілля:
1 – свердловина для
подачі повітря;
2 - вугільний пласт;
3 – підземний
газогенератор;
4 - газівідвідна
свердловина.

порівнянні з традиційними способами). Недоліки процесу: низька температура згоряння газу і труднощі контролю поширення фронту газифікації.

Перша в світі промислова станція підземної газифікації вугілля стала до ладу 1937 року в Горлівці (Донбас). В різні роки працювало до шести дослідно-промислових і промислових станцій підземної газифікації вугілля. Сьогодні використовується дві з них – Південно-Абінська (Росія, Кузбас) та Ангренська (Сер. Азія). Дослідно-промислові установки є в США, ФРН, Великобританії, Канаді, Австралії.

Підземна газифікація сірки – спосіб розробки сірчаних родовищ, який оснований на фізико-хімічних перетвореннях сірки в газоподібний і рідкий стан в надрах (на місті залягання) за допомогою вільного або зв'язаного кисню. Може бути застосована як для проникних так і непроникних сірчаних покладів. Система підземної газифікації (див. рис. 4.6., 4.7.) включає дуттьову свердловину, через яку подається повітря, зону розплавленої сірки і зону горіння, газовідвідну свердловину і поверхневий комплекс, де сірка зріджується з газів. У випадку непроникного сірчаного покладу дуттьова і газо-рідинно-відвідна свердловина являє собою єдиний комплекс (рис. 4.7.).

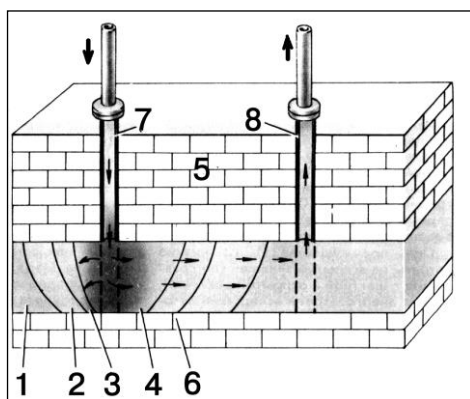


Рис. 4.6. Схема підземної газифікації проникних сірчаних покладів: 1 - сірчаний пласт; 2 - зона розплавленої сірки; 3 - зона горіння; 4 - вигоріла зона; 5 - покрівля покладу; 6 - підшва покладу; 7 - дуттьова свердловина; 8 - газовідвідна свердловина.

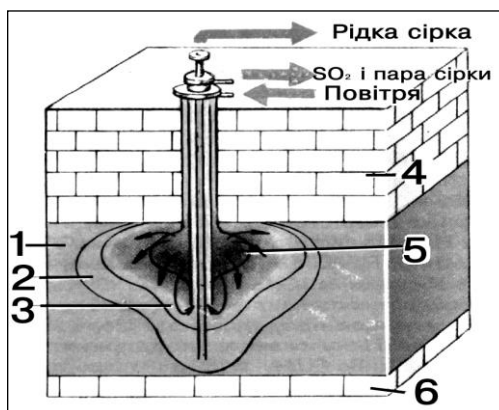


Рис. 4.7. Схема підземної газифікації непроникних сірчаних покладів: 1 - сірчаний пласт; 2 - зона плавлення сірки; 3 - зона горіння сірки; 4 - покрівля покладу; 5 - вигоріла зона; 6 - підшва покладу.

Основні переваги підземної газифікації корисних копалин – низькі витрати на розкриття покладів, низькі енерговитрати внаслідок авто-термічності процесів газифікації, збереження родючого шару ґрунту, екочистота. Недоліки: складність управління процесом горіння, можливість витоку газу через тріщини в покрівлі покладу, необхідність

високої природної або штучної проникності покладу. Можливість реалізації способів практично не залежить від глибини залягання корисної копалини, тому актуальність їх розвитку зростає по мірі вичерпання запасів, доступних для традиційних методів.

Підземна сублімація корисних копалин – спосіб розробки родовищ корисних копалин (ртутних і стибієвих руд, колчеданів та інш.) безпосередньо в надрах Землі, що базується на переведенні корисної копалини з твердої фази безпосередньо в газову. Підземну сублімацію здійснюють шляхом нагріву покладу газоподібним теплоносієм, електричним струмом, високочастотним магнітним полем. На практиці застосовується при видобутку ртуті з ртутьвмісних руд кіноварі. Основні перевагою підземної сублімації є можливість отримання порівняно чистої речовини з покладу, недоліком – високі енерговитрати, які стримують промислове застосування способу.

4.2.7 Підземне розчинення

Підземне розчинення – спосіб видобутку природних мінеральних солей (кам'яної, калійної, бішофіту) через свердловини шляхом переведення їх у водний розчин в надрах. Поряд з видобутком здійснюються збагачення, очистка (для кам'яної солі) і вибіркове вилучення (для калійних солей). Особливості підземного розчинення зумовлені фізико-хімічною природою і розчинністю солей, гідравлікою і гідродинамікою циркуляційних потоків, що виникають при створенні в соляному масиві підземних камер великих розмірів. Розчинення солі включає етапи: надходження розчинника до поверхні солі, взаємодія розчинника і солі (міжфазні процеси), розділення розчиненої речовини і солі (процеси дифузії).

Гірничодобувні підприємства, що здійснюють підземний видобуток солі способом підземного розчинення називаються розсолопромислами і являють собою комплекс наземних і підземних виробничих об'єктів, що забезпечують безперервний видобуток і подачу розсолу споживачеві. Основні технологічні споруди розсолопромислу – свердловини підземного розчинення (СПР). Конструкція свердловин вибирається виходячи з особливостей геологічної будови покладу, гідрогеологічних умов, фізико-механічних характеристик порід і інш. умов. СПР розрізняються з урахуванням способу управління процесом розчинення (прямотечійні, протитечійні, гідроврубові, пошарового розчинення), систем розробки (індивідуальні, взаємодіючі), способу розкриття соляних покладів (вертикальні, похилі, похило-горизонтальні). У залежності від порядку відробки соляних родовищ і способу управління гірничим тиском виділяються системи камерного і суцільного розчинення. При камерних системах підземне розчинення ведуть в ізольованих камерах через індивідуальні або взаємодіючі свердловини, між якими залишаються цілики. Активно впроваджується в промислову практику спосіб поетапної виїмки, що передбачає спочатку відпрацювання камер через індивідуальні свердловини, а

потім підключення нових свердловин до об'ємів діючих камер. Цей спосіб дозволяє здійснити доробку запасів, що залишаються в міжкамерних ціликах. Для відпрацювання малопотужних покладів кам'яної солі застосовується суцільна система. При цьому ділянка родовища розкривається групою свердловин, які сполучаються між собою біля подошви покладу для утворення єдиного штучного розсільного горизонту. Відпрацювання запасів ділянки здійснюється шляхом нагнітання води у водоприймальні свердловини і відбору розсолу з забірних свердловин.

При використанні підземного розчинення продуктивність праці в 4 рази вища, а питомі капітальні витрати в 7 разів менші в порівнянні з шахтним способом видобутку солей. Камери підземного розчинення використовуються для підземного зберігання нафтопродуктів і зріджених газів, захоронення відходів промислових підприємств, організації підземної очистки розсолу.

4.2.8 Морський спосіб розробки родовищ корисних копалин

Морський спосіб розробки родовищ корисних копалин включає морські нафтогазові промисли і морську гірничу технологію.

Морські нафтогазові промисли – технологічні комплекси призначені для добування і збору нафти, газу і конденсату з морських родовищ вуглеводнів, а також для підготовки продукції до подальшого транспортування.

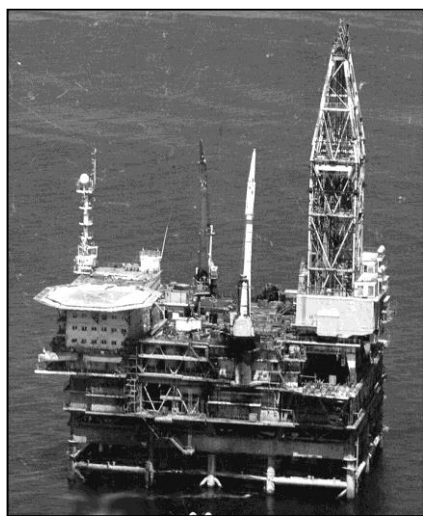


Рис. 4.8. Морські стаціонарні платформи в Каспійському морі.

Відмінність морського нафтогазового промислу від промислу на суші полягає в необхідності розміщення основного і допоміжного обладнання на морських нафтогазопромислових гідротехнічних спорудах (штучних островах, дамбах, естакадах, стаціонарних платформах) або на спеціалізованих плавучих установках. Технологічні схеми морських нафтогазових промислів залежать від глибини моря, можливості появи і товщини льодових утворень, висоти хвиль, швидкості вітру і інших природно-кліматичних умов, а також від фізико-хімічних характеристик сировини, її запасів і ін. Експлуатація морських нафтогазових промислів здійснюється в основному на незамерзаючих акваторіях до глибини 300 м.

Морська гірнича технологія – сукупність способів добування твердих корисних копалин

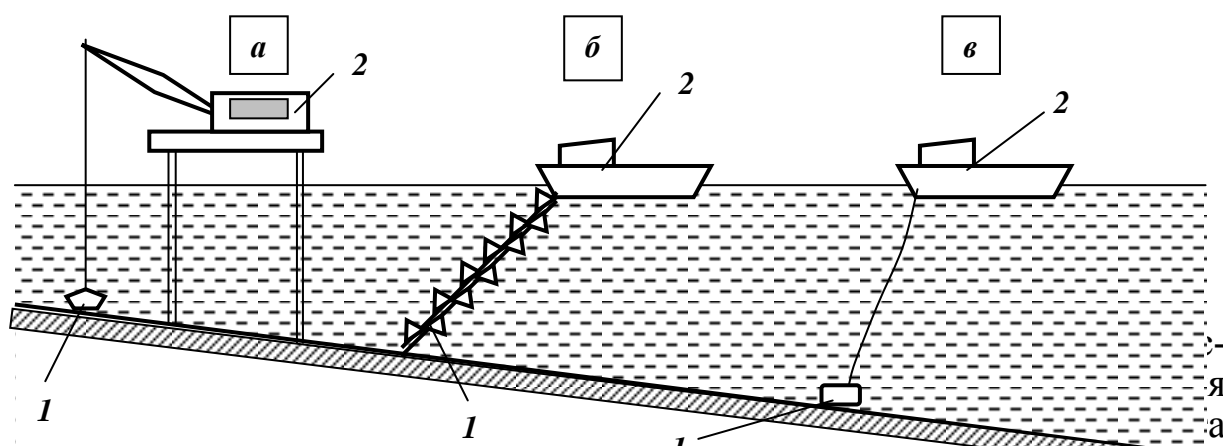
Відмінність морського нафтогазового промислу від промислу на суші полягає в необхідності розміщення основного і допоміжного обладнання на морських нафтогазопромислових гідротехнічних спорудах (штучних островах, дамбах, естакадах, стаціонарних платформах) або на спеціалізованих плавучих установках. Технологічні схеми морських нафтогазових промислів залежать від глибини моря, можливості появи і товщини льодових утворень, висоти хвиль, швидкості вітру і інших природно-



Рис. 4.9. Бурова платформа державного виробничого підприємства «Чорноморнафтогаз».

під водами Світового океану (рис. 4.10 – 4.13). Розкриття і розробка поверхневих родовищ шельфу і ложа океану здійснюється відкритим способом через водну товщу або шахтним способом з берега, зі штучних островів, стволами розташованими у воді. Залежно від гірничо-геологічних і гідрометеорологічних умов розробки родовищ застосовуються різні технічні засоби і методи добування.

Розсипи розробляються переважно багаточерпакowymi, гідравлічними і грейферними драгами, ерліфтними установками. Для розробки родовищ залізо-марганцевих конкрецій проектується видобуток гідравлічними і насосними агрегатами, зокрема ерліфтами, ківшовими драгами. Розсипи (титану, золота, олова, заліза, цирконію, платини і ін.) розробляються переважно драгами, що являють собою плавучий гірничо-збагачувальний комплекс для розробки обводнених родовищ корисних копалин. Драги оснащені робочим органом для добування продуктивних порід з-під води, промивальними і збагачувальними агрегатами для вилучення корисних компонентів і транспортно-відвальним обладнанням для укладення пустих порід (відходів збагачення) у відвал. Розробка родовищ залізо-марганцевих конкрецій здійснюється як драгами, так і гідравлічними і насосними агрегатами.



відвалами і сховищами відходів у спеціальному просторі. Підводна виїмка здійснюється валовим способом або з придонним збагаченням

Рис. 4.10 – Морський спосіб розробки родовищ корисних копалин. *а* – з платформ на палях з добувним обладнанням; *б* – драгами (багаточерпакowymi, ерліфтними, ежекторними); *в* – підводними самохідними добувними пристроями.

1 – добувний агрегат; 2 – збагачувальний комплекс.

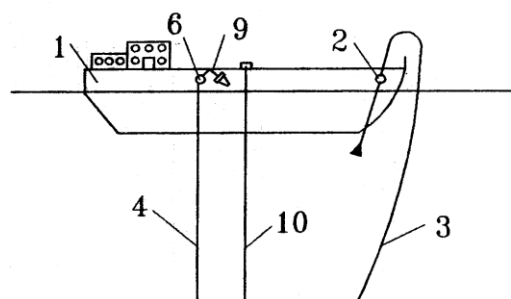
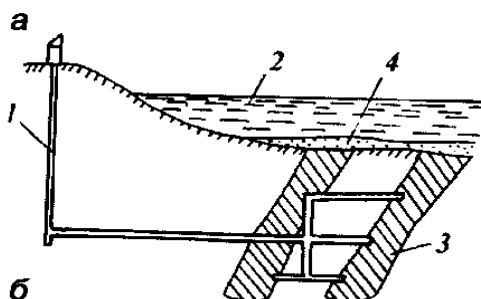


Рис. 4.12. Схема гідровидобутку залізо-
вмісних пісків фірми «Явата Сейтетцу»:
1 - судно; 2 – водяний насос; 3 - трубо-
провід; 4 – пульпопровід; 5 - магнітна си-
стема; 6 - землесос; 7 – гідророзпушувач;
8 - всас; 9 – грохот; 10 - трос; 11 - магніт.

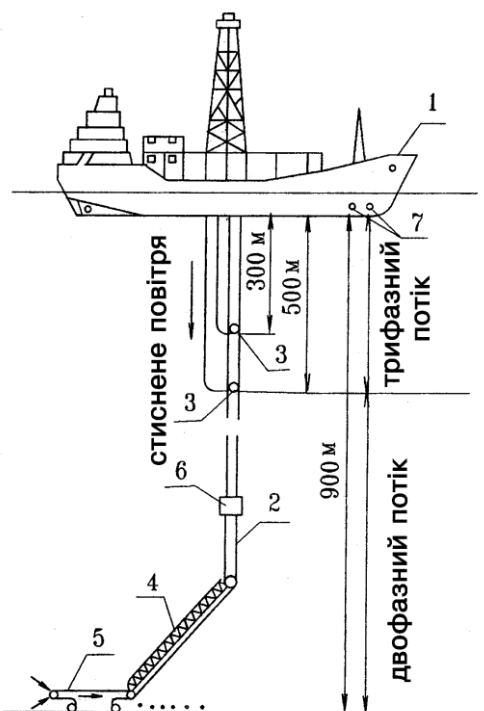


Рис. 4.13. Схема глибоководного гідровидобутку компанії
«Діпсі Венчас»: 1 - спеціалізоване судно;
2 – трубопровід для підйому корисної копалини;
3 - змішувачі ерліфту; 4 - рама з шарніром; 5 - пристрій для
збору гірської маси; 6 – двигун; 7 - пристрої, які коригують
положення судна.

Видобуток інших видів корисних копалин проводиться із застосуванням гідророзпушення (фосфорити, уранові руди, янтар), вилуговування (уранові руди), розчинення (сіль), виплавки (сірка) і інш. Висока дисперсність морських розсипів обумовлює можливість застосування

спеціальних технологій селективного видобування корисних копалин, при якому з розсипу вилучають тільки корисний компонент (приклад – технологія фірми “Явата Сейтетцу” видобування залізовмісних пісків – див. рис. 4.12).

Перспективними є ерліфтні установки для видобутку корисних копалин з дна морів та океанів (рис. 4.13).

Досвід добування вугілля під дном океану (рис. 4.11) підземними виробками є в Японії, США, Великобританії та інших країнах. Найбільше підприємство по видобутку сірки за допомогою свердловин на шельфі – на родов. Гранд-Айл в Мексиканській затоці (США, шт. Луїзіана). Технологія видобутку не відрізняється від технології на суші. Особливість полягає у попередженні прориву морських вод у гірничі виробки.

Перспективи розвитку морської гірничої технології визначаються перевагами добування корисних копалин на шельфі в порівнянні з добуванням на суші: висока мобільність морських підприємств, менший обсяг гірничих капітальних і підготовчих робіт і ін.

До морських гірничих технологій відносять також способи вилучення твердих корисних копалин з морської води.

Контрольні запитання

- 1. Призначення гірничої промисловості.*
- 2. Способи розробки родовищ корисних копалин.*
- 3. Опишіть шахтний і кар’єрний способи видобутку корисних копалин.*
- 4. Опишіть свердловинний спосіб видобутку корисних копалин.*
- 5. Опишіть способи підземного вилуговування, виплавки, розчинення та ін.*
- 6. Опишіть спосіб підземної газифікації вугілля.*
- 7. Опишіть морський спосіб видобутку корисних копалин.*

5. ПЕРВИННА ПЕРЕРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Мета розділу: вивчення способів і процесів первинної переробки корисних копалин.

5.1 ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Збагачення корисних копалин – сукупність процесів первинної переробки мінеральної сировини з метою вилучення цінних компонентів в концентрат і видалення пустої породи та шкідливих домішок, що не складають практичної цінності в даних техніко-економічних умовах.

Попереднє збагачення корисних копалин дозволяє:

- збільшити промислові запаси сировини за рахунок використання родовищ бідних корисних копалин з низьким вмістом цінних компонентів;
- підвищити продуктивність праці на гірничих підприємствах і знизити вартість руди, що добувається, за рахунок механізації гірничих робіт і суцільної виїмки корисної копалини замість вибіркової;
- підвищити техніко-економічні показники металургійних і хімічних підприємств при переробці збагаченої сировини за рахунок зниження витрат палива, електроенергії, флюсів, хімічних реактивів, поліпшення якості готових продуктів і зниження втрат корисних компонентів з відходами;
- здійснити комплексне використання корисних копалин, тому що попереднє збагачення дозволяє вилучити з нього не тільки основні корисні компоненти, але і супутні, що містяться в малих кількостях;
- знизити витрати на транспортування до споживачів більш багатих продуктів, а не всього об'єму добутої корисної копалини;
- виділити з мінеральної сировини шкідливі домішки, що при подальшій його переробці можуть погіршувати якість кінцевої продукції, забруднювати навколишнє середовище і загрожувати здоров'ю людей.

Таким чином, первинна переробка корисних копалин на збагачувальних фабриках з'являється необхідною умовою економічності металургійного, хімічного і коксохімічного виробництва.

Збагачення корисних копалин здійснюється на збагачувальних фабриках за визначеною технологічною схемою, що включає ряд послідовних операцій, в результаті яких досягається відокремлення корисних компонентів від породних. Збагачення корисних копалин здійснюється за визначеною технологічною схемою, що включає підготовчі, основні (збагачувальні) і заключні (допоміжні) процеси.

Підготовчі процеси (дроблення, подрібнення, грохочення і класифікація) призначені для руйнування мінералів, що входять до складу корисної копалини, і розділення її на класи крупності, що задовольняють наступним процесам збагачення. Вибір підготовчих процесів залежить від *міцності* копалини і її *гранулометричного складу*, *вкращення цінного мінералу*.

Основні (збагачувальні) процеси призначені для одержання цільових продуктів – концентрату, відходів та проміжного продукту. Корисні компоненти виділяють у вигляді концентратів, а породні мінерали видаляють у відвал у вигляді відходів. У процесах збагачення використовують відмінності поділюваних мінералів за *густиною* (гравітаційні процеси), *магнітним властивостям* (магнітна сепарація), *змочуваності* (флотація), *електропровідності* (електросепарація), *кольору, блиску, крупності, формі зерен* і ін. (спеціальні методи).

Заклучні операції в схемах переробки корисних копалин призначені для зневоднення продуктів збагачення з метою зниження їхньої вологості до кондиційної, а також для регенерації оборотних вод збагачувальної фабрики. Вибір методу зневоднення залежить від характеристики матеріалу, що зневоднюється (початкової вологості, гранулометричного і мінералогічного складів) і вимог до кінцевої вологості. Для зневоднення продуктів збагачення використовують *методи дренажування* (грохоти, елеватори), *центрифугування* (фільтруючі і відсаджувальні центрифуги), *згущення* (згущувачі, гідроциклони), *фільтрування* (вакуум-фільтри, фільтр-преси) і *термічного сушіння*.

Крім технологічних процесів для нормального функціонування збагачувальної фабрики повинні бути передбачені *процеси виробничого обслуговування*: внутрішньоцеховий транспорт корисної копалини і продуктів її переробки, постачання фабрики водою і електроенергією, технологічний контроль якості сировини і продуктів переробки.

5.1.1 Технологічні показники збагачення

Результати збагачення корисної копалини характеризуються якісно-кількісними показниками, основні з них такі: вихід продукту, вміст компонента, вилучення, ступінь скорочення, ступінь концентрації.

Вихід продукту – показник, що характеризує, яку частину маси корисної копалини, що переробляється, складає той чи інший продукт збагачення. Вихід продукту збагачення виражають у відсотках, рідше в частках одиниці:

$$\gamma = 100Q_{np} / Q_{вих}, \% \quad (5.1)$$

де Q_{np} – маса продукту, $Q_{вих}$ – маса вихідного матеріалу.

Сумарний вихід усіх продуктів збагачення повинний відповідати виходу вихідної збагачуваної корисної копалини, що приймається за 100 %. Якщо при збагаченні одержують два кінцевих продукти – концентрат з виходом γ_k і відходи з виходом $\gamma_{відх}$, то ця умова записується таким рівнянням, що виражає баланс виходів продуктів збагачення:

$$\gamma_k + \gamma_{відх} = 100\% . \quad (5.2)$$

Вміст компоненту – показник, що характеризує частку компонента в корисній копалині або продукті збагачення. Вміст компонентів у корисній копалині α і у продуктах збагачення β виражають у відсотках, іноді в частках одиниці. Вміст дорогоцінних металів у рудах і продуктах збагачення виражають звичайно в г/т.

Сумарна кількість будь-якого компонента, що міститься в кінцевих продуктах збагачення, повинна відповідати кількості цього компонента у вихідній корисній копалині. Якщо при збагаченні отримані два кінцевих продукти – концентрат і відходи, то ця умова запишеться рівністю:

$$\gamma_k \beta_k + \gamma_{відх} \beta_{відх} = 100\alpha . \quad (5.3)$$

Рівності (5.2) і (5.3) називаються рівняннями балансу продуктів збагачення.

Вилучення ε – показник, що оцінює частину корисного компонента, що міститься в збагачуваній корисній копалині, яка перейшла в продукт збагачення. Вилучення виражається у відсотках, рідше в частках одиниці, і обчислюється як відношення маси компонента в i -тім продукті до його маси в збагачуваній корисній копалині:

$$\varepsilon_i = \gamma_i \beta_i / \alpha , \quad (5.4)$$

Сумарне вилучення даного компонента в усі кінцеві продукти збагачення складає 100 %.

Ступінь скорочення k_c – величина, що показує у скільки разів вихід отриманого концентрату γ_k менше кількості переробленої корисної копалини:

$$k_c = 100 / \gamma_k . \quad (5.5)$$

Ступінь скорочення показує, яку кількість тонн корисної копалини необхідно переробити для одержання 1 т концентрату.

Ступінь концентрації (ступінь збагачення) k_k – величина, що показує у скільки разів збільшився вміст компонента в концентраті в порівнянні з його вмістом у збагачуваній корисній копалині:

$$k_k = \beta_k / \alpha . \quad (5.6)$$

Якісно-кількісні показники збагачення характеризують технічну досконалість технологічного процесу фабрики. Чим вище вміст цінного компонента в концентраті і його вилучення, чим більші показники ступеня збагачення і ступеня скорочення, тим вища ефективність збагачення корисної копалини.

Якість продуктів збагачення в окремих випадках характеризують не тільки вмістом цінних компонентів і наявністю шкідливих домішок, але і вмістом зерен різного розміру – *гранулометричним складом*. Якість кінцевих продуктів збагачення, одержуваних на збагачувальних фабриках, повинна відповідати вимогам, пропонованим до них споживачами продукції. Вимоги до якості концентратів називаються *кондиціями* і регламентуються державними стандартами (ДСТУ) або технічними умовами (ТУ), вони розробляються з урахуванням технології і економіки переробки даної сировини і її властивостей, а також з урахуванням реальних можливостей технології збагачення. Кондиціями встановлюються середній і мінімально або максимально припустимий вміст різних компонентів корисної копалини в кінцевих продуктах збагачення. Якщо якість продуктів відповідає кондиціям, продукти називаються кондиційними.

5.1.2 Підготовчі процеси

Це процеси, які функціонально призначені для підготовки видобутої гірничої маси до збагачення. До підготовчих належать процеси дроблення, подрібнення, грохочення і класифікації.

Дроблення і подрібнення – процеси зменшення розмірів грудок корисних копалин під дією зовнішніх сил, що переборюють внутрішні сили зчеплення між частинками твердої речовини.

При дробленні і подрібненні руйнування матеріалу здійснюються за рахунок роздавлювання, розколювання, стирання і удару (рис. 5.1).

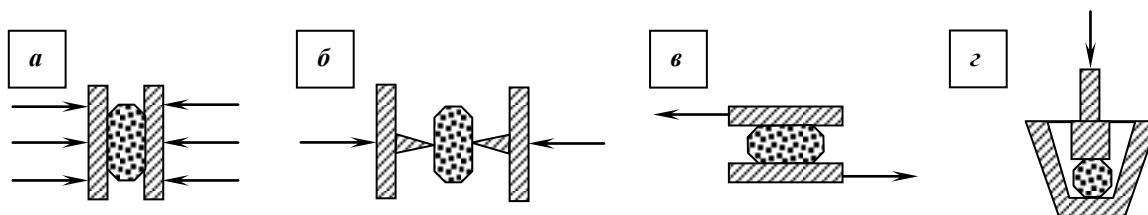


Рис. 5.1 – Способи дроблення корисних копалин.

а – роздавлювання; *б* – розколювання; *в* – стирання; *г* – удар.

Дроблення і подрібнення не мають між собою принципових розходжень. Умовно прийнято вважати, що при дробленні одержують продукти крупніше 5 мм, а при подрібненні – дрібніше 5 мм. Розмір максимальних зерен, до якого необхідно роздробити або подрібнити корисну копалину при її підготовці до збагачення, залежить від розміру включень основних компонентів, що входять до складу корисної копалини, і від технічних можливостей обладнання, на якому передбачена наступна переробка дробленого (подрібненого) продукту.

Машини для дроблення і подрібнення, застосовувані на збагачувальних фабриках, за способом руйнування гірських порід і механіко-конструктивними ознаками розділяють на п'ять основних класів: дробарки щоківі, конусні, валкові і молоткові (рис. 5.2) і барабанні млини (рис. 5.3).

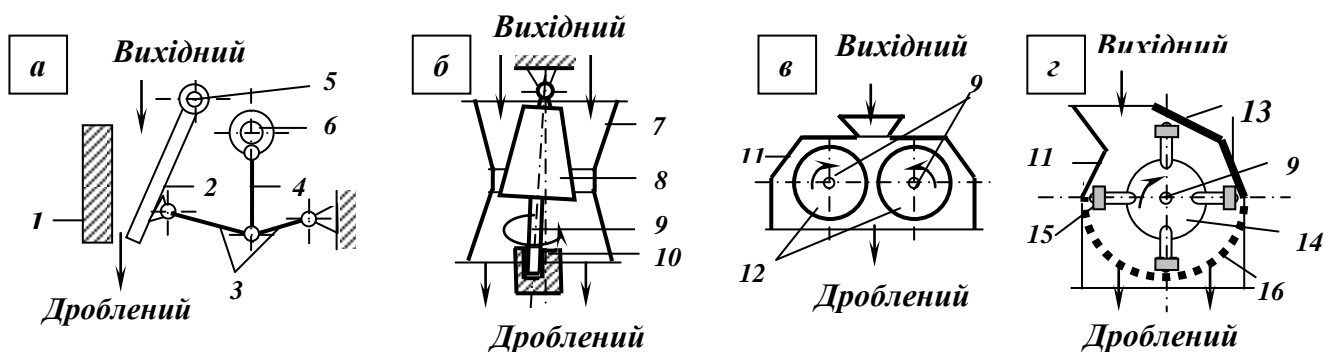


Рис. 5.2 – Схеми дробарок.

а – щоківий, *б* – конусної, *в* – валкової, *г* – молоткової.

1 – нерухома щока; 2 – рухома щока; 3 – розпірні плити; 4 – шатун; 5 – вісь;

6 – ексцентриковий вал; 7 – конічна нерухома чаша; 8 – подрібнювальний

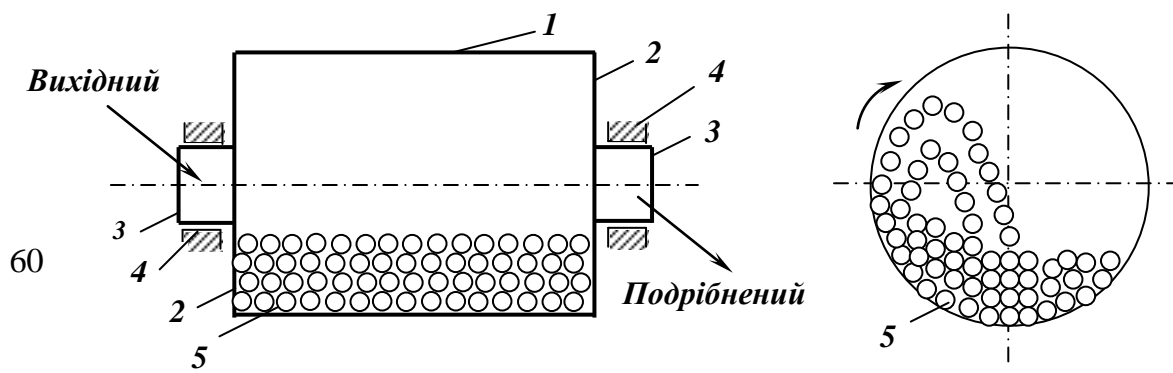
Щоківі дробарки (рис. 5.2 а) застосовуються для дроблення глинистих і вологих руд. В щоківих дробарках дроблення матеріалу відбувається при зворотно-поступальному русі рухомої щоки. Наближення рухомої щоки до нерухомої супроводжується дробленням матеріалу (роздавлюванням), а віддалення – розвантаженням дробленого продукту.

Конусні дробарки (рис. 5.2 б) використовують для дроблення твердих і в'язких порід. У конусних дробарках матеріал дробиться в кільцевому просторі, утвореному нерухомою конічною чашею і розташованим усередині цієї чаші рухомим подрібнювальним конусом, закріпленим на ексцентрично встановленому валу. Наближення подрібнювального конуса до чаші супроводжується дробленням матеріалу (роздавлюванням зі стиранням), а віддалення – розвантаженням дробленого продукту.

Валкові дробарки (рис. 5.2 в) виготовляються з гладкими і зубчатими валками. Принцип дії дробарок однаковий: вихідний матеріал подається зверху, затягується валками, що обертаються назустріч один одному і при проходженні між ними дробиться (в дробарках з гладкими валками – роздавлюванням, в дробарках з зубчатими валками – розколюванням). Валкові дробарки використовують для дроблення м'яких і крихких порід.

Молоткові дробарки (рис. 5.2 г) застосовуються для дроблення матеріалів низької, середньої і підвищеної міцності. Процес дроблення в молоткових дробарках здійснюється в результаті ударів молотків по грудках матеріалу, ударів грудок матеріалу об броньові плити і роздавлювання та стирання матеріалу молотками на колосникових решітках. Дроблений продукт розвантажується через отвори колосникових решіток.

Подрібнення мінеральної сировини на збагачувальних фабриках найчастіше здійснюється в *барабанних млинах* (рис. 5.3). За видом подрібнювального середовища розрізняють млини стержневі, кульові і самоподрібнення.



Вихідний матеріал завантажується в млин через передню цапфу, а подрібнений продукт розвантажується через задню. При обертанні барабана подрібнювальне середовище (стержні, кулі, обкатані грудки руди) і матеріал, що подрібнюється, завдяки тертю піднімаються на певну висоту, а потім сповзають, скочуються або падають униз. Таким чином, подрібнення у млині відбувається за рахунок удару падаючого подрібнювального середовища, роздавлювання і тертя між подрібнювальними тілами.

Грохочення і класифікація застосовуються для розділення корисної копалини на продукти різної крупності – класи.

Грохочення здійснюється розсівом корисної копалини на решетах і ситах з каліброваними отворами на дрібний (*підрешітний*) продукт і крупний (*надрешітний*). Схема процесу грохочення наведена на рис. 5.4.

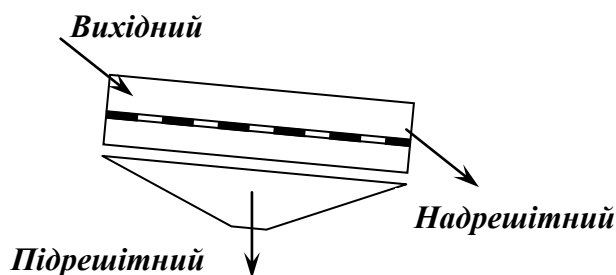


Рис. 5.4 – Схема процесу грохочення.

Залежно від крупності розсіву розміри отворів сит можуть бути від часток міліметра до декількох сотень міліметрів.

Грохоти, застосовувані на збагачувальних фабриках, розділяють на три групи: нерухомі – колосникові, дугові і конічні; барабанні обертові; вібраційні з круговими і прямолінійними вібраціями (рис. 5.5).

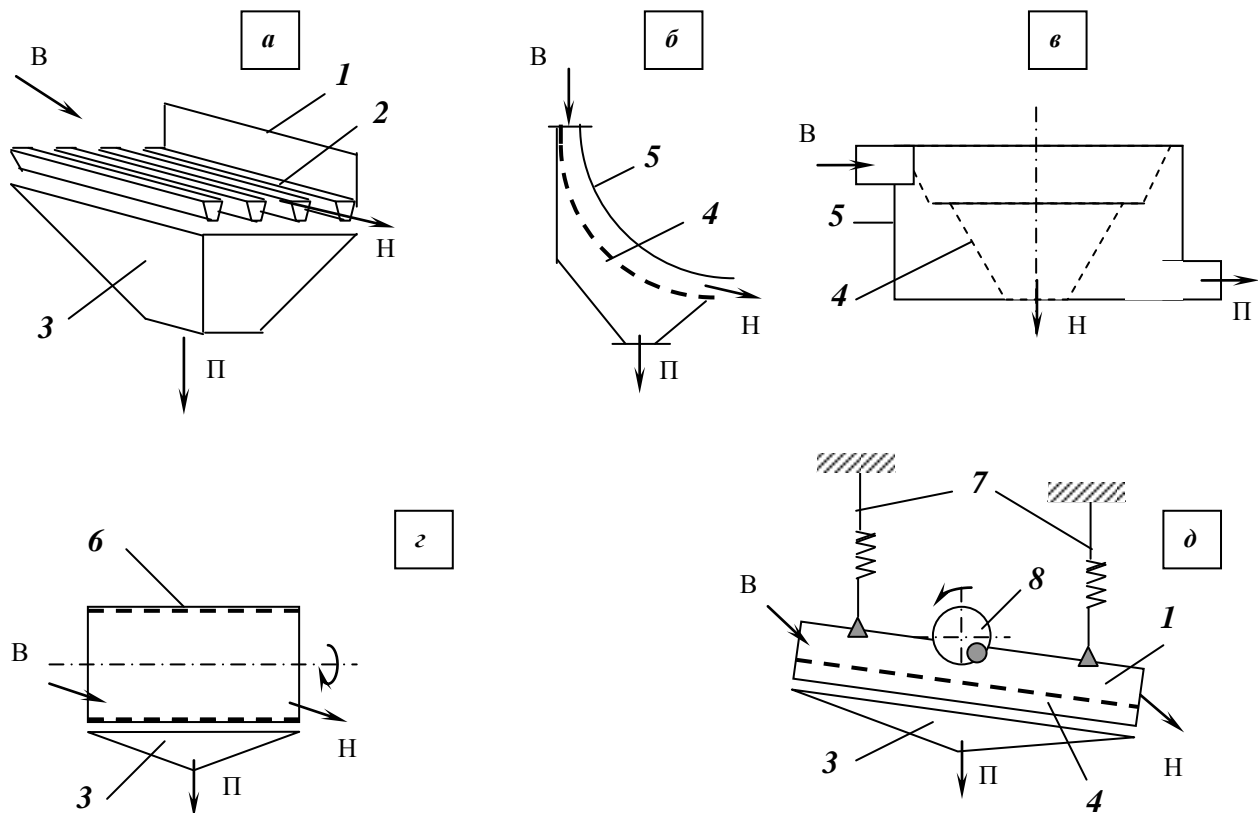


Рис. 5.5 – Схеми грохотів.

а – колосниковий грохот; **б** – дуговий грохот; **в** – конусний грохот;
г – барабанний грохот; **д** – вібраційний грохот.

Продукти: В – вихідний; Н – надрешітний; П – підрешітний.

1 – короб грохота; 2 – колосникова решітка; 3 – піддон; 4 – сито;

5 – корпус; 6 – барабан; 7 – підвіски; 8 – віброзбудувач.

Принцип дії всіх грохотів однаковий, але відбувається розсів за рахунок різних сил. На колосниковому грохоті розсів здійснюється за рахунок сил ваги, на дуговому і конічному – за рахунок відцентрових сил, на барабанному – за рахунок сил тертя, на вібраційному – за рахунок вібрацій сит.

Класифікація здійснюється у водному або повітряному середовищі і базується на використанні розходження у швидкостях осадження частинок різної крупності. Великі частинки осаджуються швидше і концентруються в нижній частині класифікатора, дрібні частинки осаджуються повільніше і виносяться з апарата водним або повітряним потоком. Одержувані при класифікації крупні продукти називаються *пісками*, а дрібні – *зливом* (при гідравлічній класифікації) або *тонким продуктом* (при пневмокласифікації). Класифікація застосовується для поділу дрібних і тонких продуктів по зерну розміром не більше 1 мм.

В практиці переробки вугілля використовуються *механічні класифікатори* – елеваторний і скребковий (рис. 5.6) і *гідравлічні класифікатори* – гідроциклони (рис. 5.7).

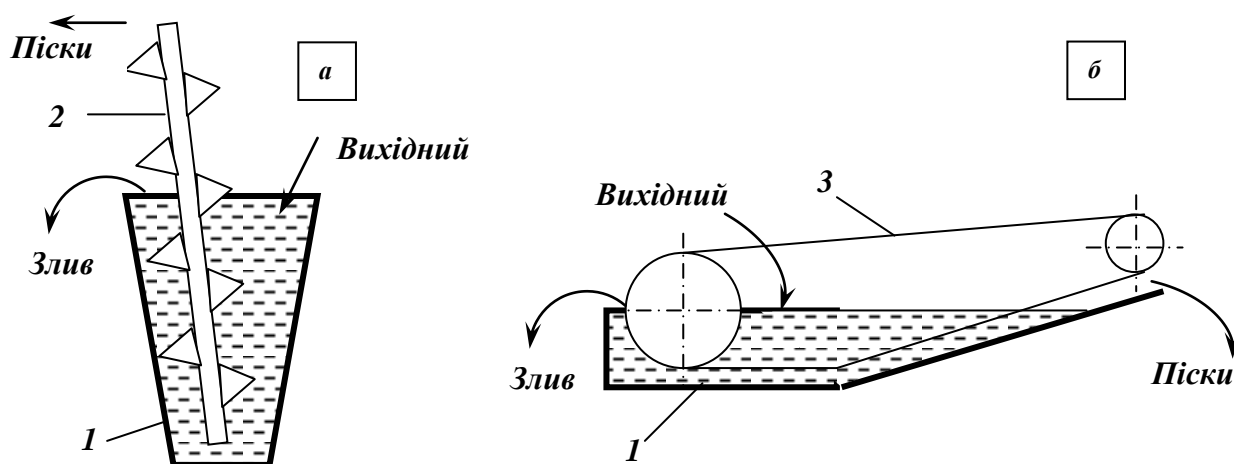


Рис. 5.6 – Схеми механічних класифікаторів.

а – елеваторний класифікатор; *б* – скребковий класифікатор.

1 – ванна; 2 – зневоднювальний елеватор; 3 – скребковий конвеєр.

Розділення матеріалу за крупністю в механічних класифікаторах відбувається в горизонтальному потоці під дією сили ваги:

$$F = mg, \text{ Н}, \quad (5.7)$$

де m – маса частинки, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Крупні частинки мають більшу масу і швидко осаджуються на дно ванни класифікатора, звідки вони видаляються механічним пристроєм – ковшами елеватора або скребками конвеєра. Дрібні частинки (з ма-

лою масою) за час перебування в класифікаторі не встигають опуститися на необхідну глибину і видаляються через зливний поріг класифікатора разом з основною масою води.

Розділення матеріалу за крупністю в гідравлічних класифікаторах відбувається під дією відцентрової сили:

$$F = mV^2 / R, \text{ Н}, \quad (5.8)$$

де m – маса частинки, кг; V – радіальна швидкість частинки, м/с; R – радіус обертання частинки, м.

Відцентрова сила в гідроциклоні виникає в результаті тангенціального введення пульпи під тиском. При вихровому русі пульпи в гідроциклоні утворюються два обертових потоки – зовнішній, що переміщується уздовж стінок вниз до піскової насадки, і внутрішній – спрямований уверх уздовж осі зливного патрубку. Крупні частинки з більшою масою під дією відцентрової сили досягають стінок гідроциклона і видаляються через піскову насадку, дрібні частинки мають малу радіальну швидкість, не встигають переміститися до стінок гідроциклона, підхоплюються внутрішнім потоком і видаляються через зливний патрубок.

Вибір обладнання і схеми підготовчих операцій залежить від фізико-механічних властивостей корисної копалини (міцність, дробимість, подрібненість) і її гранулометричного складу.

5.1.3 Збагачувальні процеси

Для розділення мінеральних компонентів застосовуються різні способи збагачення, які базуються на використанні різниці фізичних, хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей мінералів. При збагаченні корисних копалин застосовують такі методи: гравітаційний, флотаційний, магнітний, електричний і спеціальні.

Гравітаційний метод збагачення оснований на використанні різниці в густині мінералів, що розділяються. Гравітаційний метод представлений такими процесами: збагачення у важких середовищах, відсадка, концентрація на столах, гвинтова сепарація.

Процес збагачення у важких середовищах полягає в розділенні корисних копалин за густиною в гравітаційному або відцентровому полі в середовищі, густина якого є проміжною між густинами компонентів, які розділяються. Збагачення у важких середовищах – найбільш ефективний гравітаційний процес, що дозволяє досягти чіткого розді-

лення корисної копалини за заданою густиною. Процес базується на законі Архімеда: на тіло, занурене у рідину, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі витісненої тілом рідини. Таким чином, при зануренні корисної копалини у важке середовище зерна, густина яких менше густини середовища спливають, а зерна більшої густини тонуть.

Як важкі середовища можуть бути використані розчини неорганічних солей, органічні рідини і важкі суспензії. Розчини неорганічних солей (найчастіше розчини CaCl_2 і ZnCl_2 з максимальною густиною до 2000 кг/м^3) і органічні рідини (тетраброметан з густиною 2900 кг/м^3 , рідина Сушина-Рорбаха з густиною 3650 кг/м^3 , рідина Клерічі з густиною 4200 кг/м^3 і ін.) звичайно застосовуються при вивченні фракційного складу корисних копалин. У виробничих умовах використовують важкі мінеральні суспензії, що являють собою зависі тонкоподрібненої твердої речовини (обважнювача) у воді (дисперсійне середовище). Обважнювачі, застосовувані для приготування суспензій (табл. 5.1), повинні відповідати визначеним вимогам: мати досить високу густину і механічну міцність, легко регенеруватися, бути недорогими і недефіцитними, не містити шкідливих компонентів, що погіршують якість концентратів.

Результати збагачення багато в чому залежать від фізичних властивостей суспензій – густини, в'язкості і стійкості, а також від властивостей обважнювача. Густина суспензій визначається густиною обважнювача і його об'ємним вмістом у суспензії:

$$\Delta_c = \Delta + (\delta_o - \Delta)c_o \quad (5.9)$$

або

$$\Delta_c = (1 - c)\Delta + \delta_o c_o, \quad (5.10)$$

де $\Delta_c, \Delta, \delta_o$ – густина суспензії, води і обважнювача, кг/м^3 ; c_o – об'ємна концентрація обважнювача в суспензії, частки од.

Таблиця 5.1 – Характеристика обважнювачів

Обважнювач	Густина, кг/м^3	
	обважнювача	суспензії (максимальна)
Барит	4400	2200
Піротин	4600	2300
Пірит	5000	2500
Магнетит	5000	2500
Арсенопірит	6000	2800
Феросиліцій	6900	3100
Галеніт	7500	3300

У практиці гравітаційного збагачення для приготування суспензій на вуглезбагачувальних фабриках використовують магнетитовий концентрат густиною 4400 – 4700 кг/м³, на рудозбагачувальних фабриках – феросиліцій густиною 6800 – 7200 кг/м³.

В'язкість – властивість середовищ чинити опір відносному руху їхніх елементарних шарів. Причиною опорів, що виникають при русі рідин, є внутрішнє тертя між сусідніми дотичними шарами. Таким чином, для взаємного переміщення частинок реальної рідини необхідна деяка витрата енергії. Відповідно до закону Ньютона сили внутрішнього тертя, що виникають між сусідніми шарами рідини, що рухаються, прямо пропорційні швидкості відносного руху і площі поверхні зіткнення:

$$F_T = S \mu \frac{du}{dh}, \quad (5.11)$$

де F_T - сила внутрішнього тертя, Н; S - площа дотичних шарів, м²; μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; du - різниця швидкостей руху сусідніх елементарних дотичних шарів, м/с; dh - відстань між осями сусідніх елементарних шарів, м; du/dh - градієнт швидкості, с⁻¹.

Поняття «в'язкість» характерне лише для динамічно рухливих середовищ, тому що з припиненням руху середовища швидкості відносного ковзання шарів стають рівними нулю і зникають сили внутрішнього тертя. Сили внутрішнього тертя залежать від роду середовища. З підвищенням температури в'язкість рідини зменшується. При нормальних умовах динамічний коефіцієнт в'язкості води $\mu = 0,001$ Па·с.

В'язкість суспензії збільшується зі зростанням об'ємної концентрації обважнювача і його дисперсності і не залежить від природи обважнювача і його густини. Динамічний коефіцієнт в'язкості суспензії при об'ємній концентрації обважнювача до 40 % визначається за формулою Ванда:

$$\mu_c = \mu_o (1 + 2,5c_o + 7,35c_o + 16,2c_o + \dots), \quad (5.12)$$

де μ_c, μ_o - динамічні коефіцієнти в'язкості суспензії і води, Па·с; c_o - об'ємна концентрація обважнювача, частки од.

Збільшення в'язкості розділового середовища при гравітаційному збагаченні приводить до зниження ефективності процесу. Магнетитові суспензії при високому вмісті обважнювача, наявності шламу і глини стають структурно в'язкими. У таких суспензіях погіршується процес поділу корисної копалини, особливо дрібних зерен, що не тонуть і не спливають, тому що не можуть перебороти опір середовища. Нормальні умови розділення забезпечуються при динамічній в'язкості розділового середовища, яке не перевищує 0,007 Па·с.

Стійкість суспензії – здатність її зберігати задану густину у різних по висоті шарах. Безструктурні суспензії, застосовувані найчастіше в практиці гравітаційного збагачення, є вкрай нестійкими системами. В міру збільшення структуроутворення або підвищення вмісту в суспензії твердого підвищується і її стійкість.

Ступінь стійкості суспензії багато в чому визначає конструкцію збагачувального обладнання, режим і умови його роботи, точність розділення гірничої маси на корисний компонент та відходи. Підвищення стійкості суспензій може бути досягнуто різними способами: створенням висхідних і горизонтальних потоків; застосуванням обважнювачів визначеного складу; додаванням реагентів-пептизаторів; фізико-механічними впливами.

Збагачення в важких суспензіях використовується для одержання кінцевих продуктів (при переробці вугілля) і для попереднього видалення пустої породи (при переробці руд з крупним і агрегатним вкращенням). Для збагачення кам'яного вугілля крупністю понад 6 - 10 мм і руд крупністю понад 3 - 5 мм застосовуються сепаратори з гравітаційним полем – колісні, конусні, барабанні.

Схема колісного важкосередовищного сепаратора наведена на рис. 5.8. Принцип дії сепаратора такий: вихідний матеріал надходить в напівциліндричну ванну сепаратора, заповнену магнетитовою суспензією, де він розділяється за густиною. На частинки діє гравітаційна сила:

$$F = W(\delta - \Delta)g, \text{ Н}, \quad (5.13)$$

де W – об'єм частинки, м^3 ; δ – густина частинки, кг/м^3 ; Δ – густина суспензії, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Залежно від різниці густин суспензії і частинки визначається напрям її руху. Частинки, що мають густину меншу ніж густина суспензії (вугільний концентрат), спливають і розвантажуються гребковим механізмом на шпальтове сито для попереднього видалення суспензії.

Частинки з більшою густиною (відходи) в суспензії тонуть, потрапляють у ковші елеваторного колеса і виносяться ними з сепаратора.

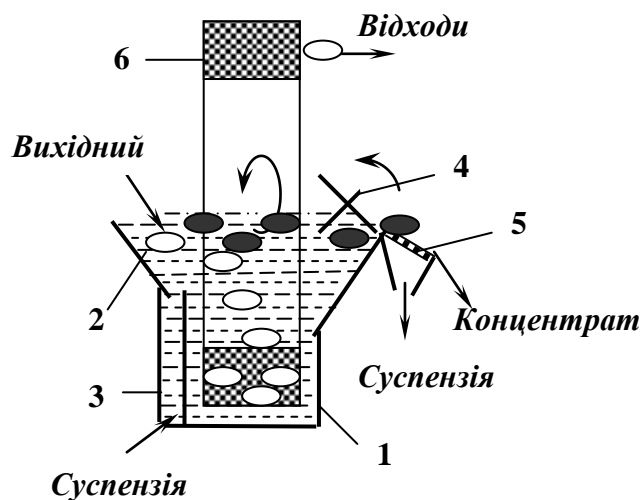


Рис. 5.8 – Схема колісного важкосередовищного сепаратора.

1 – корпус; 2 – завантажувальний жолоб; 3 – суспензійний патрубок; 4 – гребковий механізм; 5 – сито шпальтове; 6 – елеваторне колесо.

При збагаченні вугілля і руд меншої крупності застосовують апарати з відцентровим полем – гідроциклони (рис. 5.9).

Принцип дії важкосередовищного гідроциклону той же, що і класифікаційного. Матеріал із суспензією надходить в гідроциклон через живильний патрубок тангенціально і під тиском.

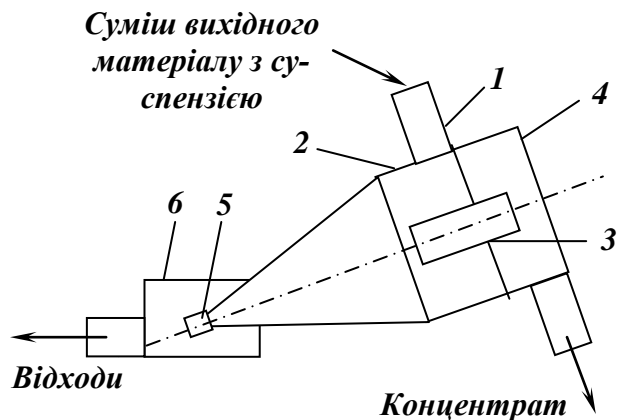


Рис. 5.9 – Схема двопродуктового важкосередовищного гідроциклону.

1 – живильний патрубок;
2 – завантажувальна камера;
3 – зливний патрубок;
4 – розвантажувальна камера;
5 – нижня насадка;
6 – приймальна камера.

Легкий продукт (вугільний концентрат) з основною масою суспензії виводиться з гідроциклону через зливний патрубок і розвантажувальну камеру. Важкий продукт разом зі згущеною суспензією вивантажується через нижню насадку.

Технологічні схеми збагачення в суспензіях розділяють за числом стадій збагачення, числом кінцевих продуктів і призначенням.

Відсадкою називається процес гравітаційного збагачення корисних копалин, який базується на розділенні зернистого матеріалу за густиною у вертикальному турбулентному пульсуючому потоці води

або стисненого повітря знакоперемінної швидкості. Крупність руд, збагачуваних відсадженням, складає від 0,2 до 60 мм, вугілля – від 0,5 до 150 мм, антрацитів – від 0,5 до 250 мм.

Процес відсадки здійснюється у відсаджувальних машинах, де висхідний потік викликає розпушення *відсаджувальної постелі*, а низхідний – її ущільнення з поступовим формуванням на решеті шару зерен важкого продукту. Режим пульсацій води вибирається в залежності від складу матеріалу і його крупності. При цьому постіль (нижній шар мінералу більшої густини, що осів на решеті відсаджувальної машини) переміщується у повздовжньому напрямку, і в кінці відсаджувального відділення відбувається роздільне вивантаження важкого (нижнього) і легкого (верхнього) продуктів відсадки. Ефективність відсадки тим вища, чим більша крупність збагачуваного матеріалу і чим більше розходження в густинах мінералів, що розділяються.

Теоретичні уявлення про механізм розділення корисних копалин у відсаджувальних машинах носить характер гіпотез, оснований на різних фізичних передумовах. Основних гіпотез чотири: швидкісна, суспензійна, енергетична і статистична.

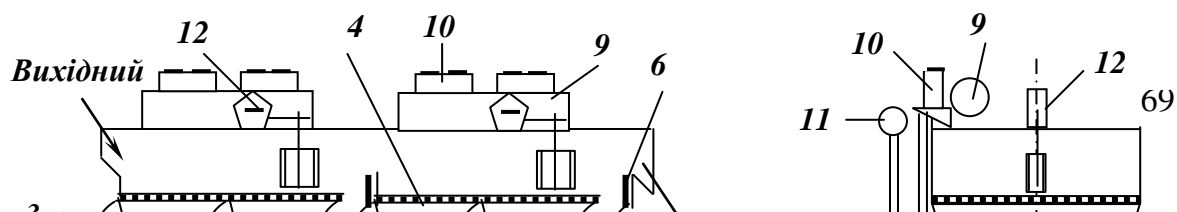
Швидкісна гіпотеза основана на функціональній залежності швидкості падіння окремого зерна в стиснених умовах від його розміру, форми, густини і т.д. Ця гіпотеза не враховує імовірнісні явища, що мають місце при масовому русі зерен, які утворюють шар відсаджувальної постелі.

Суспензійна гіпотеза уподібнює поділ зерен у відсаджувальній машині розшаруванню за густиною в мінеральній суспензії, при цьому суспензію утворюють зерна збагачуваного матеріалу і штучної постелі, зважені у висхідних потоках середовища. Гіпотеза справедлива лише в окремі моменти процесу, що виникають при розшаруванні тонкого матеріалу.

Енергетична гіпотеза розглядає постіль як замкнену механічну систему, що знаходиться в нестійкій рівновазі в полі сили ваги. При розпушенні такої системи положення мінеральних зерен різної густини, що мають різний запас потенційної енергії, упорядковується, постіль розшаровується за густиною, запас потенційної енергії системи зменшується. А відповідно до другого закону термодинаміки всяка система прагне перейти в положення з мінімумом потенційної енергії, тобто в даному випадку розділитися на шари різної густини. Ця гіпотеза не враховує зовнішні сили, за рахунок яких і відбувається процес відсадження.

Статистична гіпотеза уявляє відсадку як масовий процес з імовірнісним характером переміщення частинок різної крупності і густини як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках при русі до місць їхнього розвантаження з машини.

Процес відсадки відбувається у відсаджувальних машинах різних типів. В практиці вуглезбагачення використовуються повітряно-пульсаційні відсаджувальні машини (рис. 5.10).



Процес відсадження здійснюється в такий спосіб. Вихідний матеріал разом із транспортною водою подається на решето завантажувального відділення. У результаті пульсацій води матеріал при переміщенні уздовж машини розшаровується за густиною. Важкий продукт по решету переміщається до розвантажувальної камери, звідки роторним розвантажувачем вивантажується в лійку і далі зневоднюючим елеватором видається з машини. Привод роторного розвантажувача зв'язаний із системою автоматичного регулювання рівня постелі і частота його обертання автоматично змінюється в залежності від товщини шару важких фракцій на решеті.

Легкий продукт разом із транспортною водою переливається через регульований зливний поріг 6 розвантажувального відділення відсаджувальної машини і по жолобу направляється в подальшу операцію, передбачену технологічною схемою.

Збагачення відсадкою займає одне з провідних місць у технології збагачення корисних копалин. Відсадка з успіхом може застосовуватися для рудних і нерудних корисних копалин, у яких корисні мінерали відрізняються від супутніх їм породних по густині і представлені зернами крупністю не менше 0,5 мм. Відсадкою збагачуються розсіпні золотоносні, платинові, алмазні, титано-цирконієві руди, деякі корінні руди кольорових і рідкісних металів, залізні і марганцеві руди, але особливо широко відсадка використовується при збагаченні кам'яного вугілля і антрациту.

Збагачення на концентраційних столах – процес розділення сипучої суміші мінеральних частинок за їх густиною в тонкому потоці води, який тече по нахиленій деці концентраційного столу, що здійснює

зворотно-поступальний повздовжній рух. Концентраційні столи використовують для збагачення руд рідкісних, благородних і чорних металів (крупністю 0,01 – 3 мм) і вугілля (крупністю 0,074 – 13 мм) при густині мінералів 1200 – 15600 кг/м³. Схема концентраційного стола наведена на рис. 5.11.

Розділення матеріалу за густиною відбувається на деці столу, що являє собою похилу площину, закріплену за допомогою шарнірних опор на рамі. Конструкцією передбачена можливість регулювання поперечного і подовжного кутів нахилу деки. Дека столу одержує зворотно-поступальні рухи від привода і зворотної пружини. Вихідне живлення разом з водою подається в завантажувальний бункер, а додаткова (змивна) вода – у подовжній жолоб, у якому є заслінки для розподілу води по поверхні столу. Завдяки встановленим на деці нарифленням і течії води утворюється специфічне розділювальне середовище. За час перебування матеріалу на деці концентраційного стола відбувається розпушення шару, розшарування і транспортування частинок у подовжному і поперечному напрямках відповідно до їх густини і крупності.

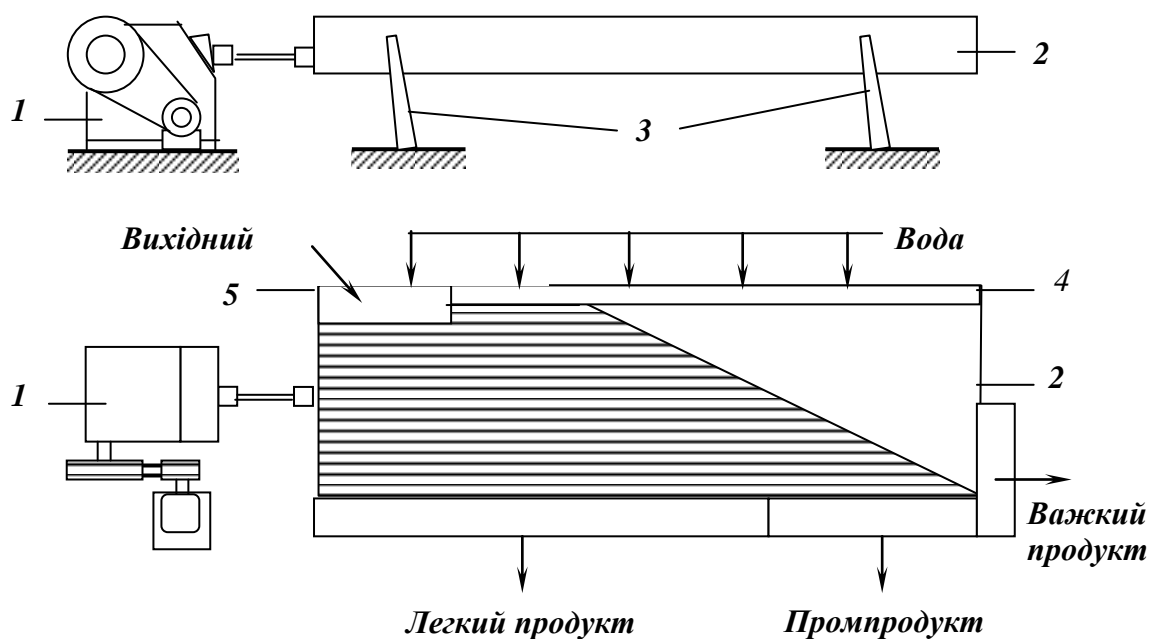


Рис. 5.11 – Схема концентраційного стола.

1 – привід; 2 – дека стола с рифлями; 3 – опори;
4 – жолоб змивної води; 5 – бункер живлення.

Концентраційні столи мають малу питому продуктивність, тому на фабриках для збагачення корінних і розсипних руд рідкісних металів концентраційні столи використовують головним чином для перетищення концентратів.

З концентраційними столами конкурують гвинтові сепаратори.

Гвинтова сепарація – процес розділення суміші мінеральних частинок в похило текучому і одночасно обертальному потоці води з дуже складною кінематикою руху.

Розділення матеріалу за густиною в гвинтових сепараторах (рис. 5.12) відбувається на такий спосіб. Пульпа під дією сили ваги стікає униз по гвинтовому жолобу. Під час руху по жолобу в низхідному напрямку зерниста маса пульпи розділяється. Зерна важких мінералів концентруються в придонній частині жолоба, а зерна легких мінералів виносяться в верхні шари потоку і зносяться униз з більшою швидкістю, ніж важкі.

Одночасно, крім подовжніх струменів, у пульпі утворюються поперечні циркулюючі потоки. Під дією поперечних потоків і відцентрових сил, що виникають під час криволінійного руху, відбувається розшарування зерен за густиною в радіальному напрямку. Легкі зерна під дією відцентрових сил і поперечних водних потоків переміщуються у периферійну зону жолоба і концентруються біля його зовнішнього борту. Величина відцентрових сил, що діють на зерна важких мінералів, які концентруються в придонній зоні, значно менша, ніж у верхніх шарах. Також в придонній зоні поперечні водні потоки і відцентрові сили діють у протилежних напрямках. Тому зерна важких мінералів концентруються біля внутрішнього борту жолоба.

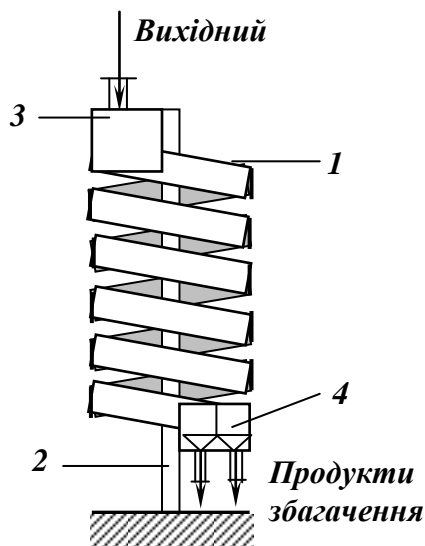


Рис.5.12 – Схема гвинтового сепаратора.

- 1 – гвинтовий жолоб; 2 – опора;
- 3 – завантажувальний пристрій;
- 4 – розвантажувальний пристрій.

Розшарування основної маси зерен за густиною закінчується після проходження пульпою двох-трьох витків, далі зерна рухаються униз за траєкторіями, близькими до гвинтових ліній. Важкий продукт розвантажувється відсікачами з верхніх витків, промпродукт – з нижніх витків, а легкий продукт – в кінці жолоба.

Гвинтові сепаратори і шлюзи застосовують для вилучення питомо-важких мінералів з корінних і розсипних руд і додаткового вилучення цінних мінералів з високою густиною з відходів флотаційного або ма-

гнітного збагачення. Вони знайшли широке застосування для збагачення дрібнозернистих пісків, що містять ільменіт, циркон, рутил і інші корисні копалини, а також для збагачення корінних руд рідкісних і благородних металів, залізних руд, фосфоритів, хромітів, кам'яного вугілля і алмазів.

При крупності цінних мінералів 0,1-3 мм застосовують гвинтові сепаратори, для дрібнішого матеріалу 0,05-0,2 мм використовують гвинтові шлюзи.

При зольності вугільних шлаків 20-35 % і крупності до 3,5 мм гвинтова сепарація дозволяє отримати концентрат зольністю 7-12 % і відходи зольністю до 75 %.

Флотація – процес збагачення дрібних корисних копалин, який базується на відмінностях у поверхневих фізико-хімічних властивостях різних мінералів, що обумовлює їх різну змочуваність і вибіркову здатність деяких мінералів до закріплення на поверхні розділу фаз з наступним спливанням і нагромадженням на поверхні пульпи.

Процес флотації здійснюється у результаті так званого *елементарного акту флотації* (прилипання мінеральних частинок до бульбашок повітря). В основі елементарного акту флотації лежать фізико-хімічні явища, що протікають на межі розділу трьох фаз – твердої, рідкої і газоподібної. Найбільш важливі з них – змочуваність поверхні твердої фази і зміна її властивостей при сорбції флотореагентів. Змочуваність – явище взаємодії поверхні мінеральних частинок з молекулами води під впливом неврівноважених сил молекулярного притягання на поверхні мінеральної частинки. Змочуваність залежить від величини вільної поверхневої енергії частинки. При великому запасі вільної поверхневої енергії поверхня частинки добре змочується водою, при малому – погано. За змочуваністю водою поверхні твердих тіл класифікують на незмочувані – гідрофобні і добре змочувані водою – гідрофільні.

Флотованість мінералів пояснюється на основі теорії гідратних шарів. Гідратний шар складається з упорядкованих диполів води, які знаходяться на межі розділу двох фаз. При великій товщині гідратного шару поверхня мінералу – *гідрофільна* (змочується водою), при його відсутності – *гідрофобна* (не змочується водою). Кількісною оцінкою змочуваності служить *крайовий кут змочуваності*, який утворюється дотичною до поверхні краплі (або бульбашки повітря) і поверхнею мінералу (рис. 5.13).

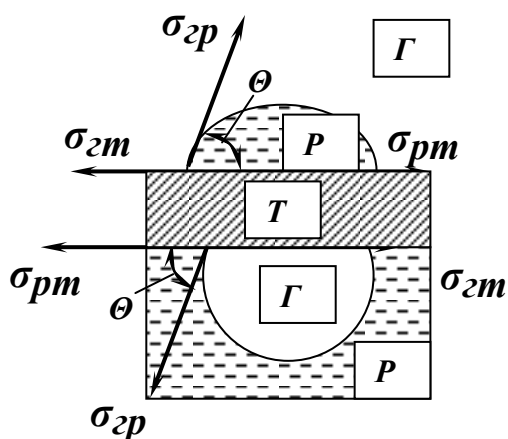


Рис. 5.13 – Схема сил поверхневого натягу на межі розділу трьох фаз.

Г – газоподібна фаза;
Р – рідка фаза;
Т – тверда фаза.

Величина крайового кута змочуваності Θ змінюється від 0 до 180°. Крайовий кут змочуваності залежить від сил поверхневого натягу на поверхні розділу фаз. Лінія, по якій поверхня розділу «газ-рідина» стикається з поверхнею твердого тіла, називається периметром змочування. Розтікання краплі води по поверхні мінералу припиниться при зрівноваженні сил поверхневого натягу:

$$-\sigma_{zm} + \sigma_{pm} + \sigma_{zp} \cdot \cos \Theta = 0,$$

звідки

$$\cos \Theta = (\sigma_{zm} - \sigma_{pm}) / \sigma_{zp}, \quad (5.14)$$

де $\sigma_{zm}, \sigma_{pm}, \sigma_{zp}$ - поверхневий натяг на межі розділу фаз «газ – тверде», «рідина – тверде» і «газ – рідина», Н/м.

Менші значення крайового кута змочування відповідають гідрофільним поверхням, які добре змочуються водою. Навпаки, гідрофобним частинкам, на поверхні яких молекули води утримуються неміцно, відповідають більші значення крайового кута змочування. З поверхні гідрофобних частинок повітря легко витискує воду, а з поверхні гідрофільних частинок вода легко витискує повітря.

Таким чином, сила прилипання залежить від ступеня гідрофобності поверхні частинки, величини бульбашки і густини пульпи. Сила прилипання частинки до бульбашки повітря виражається рівнянням:

$$F = W\Delta_n g + \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(\frac{2\sigma_{zp}}{R} - H\Delta_n g \right), \text{ Н}, \quad (5.15)$$

де W – об'єм бульбашки, м³; Δ_n – густина пульпи, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; d – діаметр периметру злипання повітряної бульбашки з твердою поверхнею, м; σ_{zp} – поверхневий натяг на межі повітря–вода, Н/м; R – радіус верхньої частки повітряної бульбашки, м; H – висота бульбашки, м.

Зміна змочуваності при флотації здійснюється введенням у пульпу флотаційних реагентів.

Флотаційними реагентами зводяться речовини, що вводяться у пульпу з метою утворення сприятливих умов для розділення мінералів флотацією.

Залежно від призначення усі флотаційні реагенти ділять на п'ять груп: *збирачі* або *колектори*, *спінювачі* або *піноутворювачі*, *активатори*, *депресори* і *регулятори середовища*. Три останні групи реагентів об'єднують під загальною назвою *модифікатори*.

Збирачі – речовини, що мають здатність до сорбції на межі розділу фаз «рідина (вода) – тверде (поверхня мінеральної частинки)», в результаті чого збільшується крайовий кут змочування флотоваого мінералу і його гідрофобність. Збирач гідрофобізує одні мінерали і не чинить помітної дії на інші, що підвищує селективність флотаційного процесу.

Спінювачі – речовини, що мають здатність до сорбції на межі розділу фаз «рідина (вода) – газ (повітря)», в результаті чого зменшується поверхневий натяг. При введенні спінювачів у флотаційний процес підвищується стабільність і дисперсність пін, а також відбувається збільшення ступеня аерації пульпи за рахунок зниження швидкості підйому бульбашок і накопичення їх у пульпі.

Велике значення для успішної флотації мінеральних частинок має *аерація пульпи* – насичення її повітряними бульбашками. Аерація пульпи здійснюється безпосереднім введенням в нею повітря і виділенням газів на поверхні твердих частинок. Повітряні бульбашки при флотації мають розмір від 0,05 до 1 мм.

Модифікатори (активатори, депресори і регулятори середовища) – флотаційні реагенти, що використовуються для регулювання взаємодії збирача з мінералами з метою збільшення або зменшення гідрофобізації їх поверхні.

Використання модифікаторів дозволяє збільшити селективність дії збирача на мінерали і, таким чином, забезпечує їх чітке розділення при флотації.

Завершальною фазою флотаційного процесу після утворення і зміцнення комплексів «мінеральна частинка – повітряна бульбашка» (так званих флотоагрегатів) є утворення мінералізованої піни. Мінералізована піна утворюється завдяки спливанню і накопиченню флотаційних комплексів на поверхні пульпи. Для формування дрібних повітряних бульбашок, а також для попередження їх коалесценції (злипання) в об'єм пульпи вводять поверхнево-активні реагенти – спінювачі, молекули яких адсорбуються на межі розділу «газ - рідина» і зменшують на ній поверхневий натяг.

Таким чином, процес флотації включає адсорбцію реагентів на границі розділу «рідина – тверде» і «газ – рідина», прилипання частинок до повітряних бульбашок і утворення мінералізованої піни.

Відомо декілька способів флотації: масляна, плівкова і пінна.

Пінна флотація – найбільш поширений різновид флотації. Пінна флотація основана на здатності погано змочуваних водою мінеральних частинок (гідрофобних) прилипати до бульбашок повітря, які виникають при аерації пульпи. Комплекси «мінерал-повітря» спливають на поверхню пульпи, утворюючи пінний продукт. Змочувані водою мінеральні частинки залишаються завислими у пульпі і утворюють камерний продукт. Для підсилення різниці в змочуваності мінеральних частинок пульпа обробляється спеціальними флотаційними реагентами.

Апарати, у яких здійснюється процес флотації називаються *флотаційними машинами*. Призначення флотомашин – створення умов для змішування пульпи з тонкодисперсним повітрям, забезпечення прилипання мінеральних частинок до бульбашок, вилучення створених комплексів у пінний шар і виділення потрібного продукту з водного середовища.

Широке використання флотації для збагачення різних корисних копалин привело до розробки великої кількості конструктивних типів флотаційних машин, але найчастіше використовуються механічні флотаційні машини.

Механічна флотаційна машина (рис. 5.14) складається з послідовного ряду двокамерних секцій. За конструкцією вони відрізняються наявністю у першій секції завантажувального карману, а у останній – розвантажувального.

Кожна секція складається з всмоктувальної і прямотечійної камер. У центральній частині кожної з них (всередині труби) розміщений вал з імпелером, при обертанні якого пульпа засмоктується у камеру і переміщується.

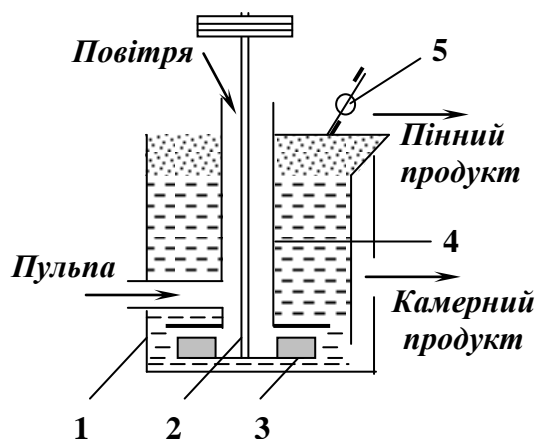


Рис. 5.14 – Схема флотаційної машини.

1 – камера; 2 – вал; 3 – імпелер;
4 – повітряна труба; 5 – пінознімач.

При цьому пульпа ежектує атмосферне повітря і насичується ним. Імпелер викидає у камеру пульпо-повітряну суміш, внаслідок її турбулізації створюється велика кількість дрібних бульбашок. У камері при зустрічі з бульбашками оброблені реагентами частинки закріплюються на них і створюють комплекс «мінеральна частинка – повітряна бульбашка». Мінералізовані бульбашки спливають на поверхню пульпи і створюють пінний шар. Пінний продукт (звичайно концентрат) віддаляється пінознімачем (з однієї або двох сторін) і направляється на зневоднення або перечищення. Нефлотований матеріал переміщується у подальшу камеру, де процес флотації продовжується, або видається з кінцевої камери як камерний продукт (звичайно відходи). Рівень пульпи у секціях підтримується шиберами з електроприводом.

Механічні флотаційні машини застосовуються для флотації пульп звичайної крупності (максимальна крупність до 1 мм при вмісті класу $-0,074$ мм не менше 50 %) у розвинутих схемах флотації, що вимагають регулювання рівня пульпи на малому числі камер. Вони забезпечують безнасосне повернення промпродуктів з попереднього перечищення в наступне. Машини механічного типу застосовуються на збагачувальних фабриках малої виробничої потужності при відсутності повітряного господарства, а також у перелічених операціях і циклах розділення колективних концентратів з відносно невеликими виходами. Механічні флотомашини найбільш універсальні, тому вони використовуються для збагачення багатьох корисних копалин.

Флотаційний процес використовується для збагачення багатьох корисних копалин, зокрема вугілля і ряду руд.

Магнітні процеси збагачення ґрунтуються на використанні відмінностей у магнітних властивостях мінералів і гірських порід і здійснюються в магнітних сепараторах у повітряному і водному середовищах. Суха магнітна сепарація здійснюється при крупності матеріалу 6 – 70 мм, мокра – при крупності матеріалу менше 6 мм. Для створення магнітного поля в сепараторах використовуються постійні магніти або електромагніти. Магнітні властивості мінералів характеризуються *магнітною сприйнятливістю*. Магнітна сприйнятливість – фізична величина, що характеризує здатність тіла змінювати інтенсивність власної намагніченості.

За технологічною класифікацією всі мінерали і гірські породи залежно від їх питомої магнітної сприйнятливості розділяються на три групи:

– сильномагнітні (ферромагнітні) мінерали, що мають питому магнітну сприйнятливість $\chi > 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$. Ці мінерали (магнетит, маггеміт, піротин, франклініт і ін.) можуть вилучатися у магнітну фракцію на сепараторах з відносно слабим магнітним полем напруженістю $H = 70 - 120 \text{ кА/м}$;

– слабкомагнітні мінерали, що мають питому магнітну сприйнятливість $1 \cdot 10^{-8} \leq \chi \leq 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. Ця найбільш численна група мінералів відповідає парамагнітним речовинам і включає оксиди, гідрооксиди і карбонати заліза і марганцю, вольфраміт, ільменіт, біотит, гранат і ін. Для вилучення цих мінералів у магнітну фракцію напруженість магнітного поля сепараторів мусить бути $H = 480 - 1600 \text{ кА/м}$;

– немагнітні мінерали, до яких відносяться парамагнітні мінерали з питомою магнітною сприйнятливістю $\chi < 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ і всі діаманітні мінерали ($\chi < 0$). Ці мінерали не вилучаються в магнітну фракцію навіть у сепараторах з сильним магнітним полем.

Барабанні сепаратори (рис. 5.15) дістали широке використання в практиці збагачення магнетитових руд і для регенерації ферромагнітних обважнювачів при збагаченні у важких суспензіях.

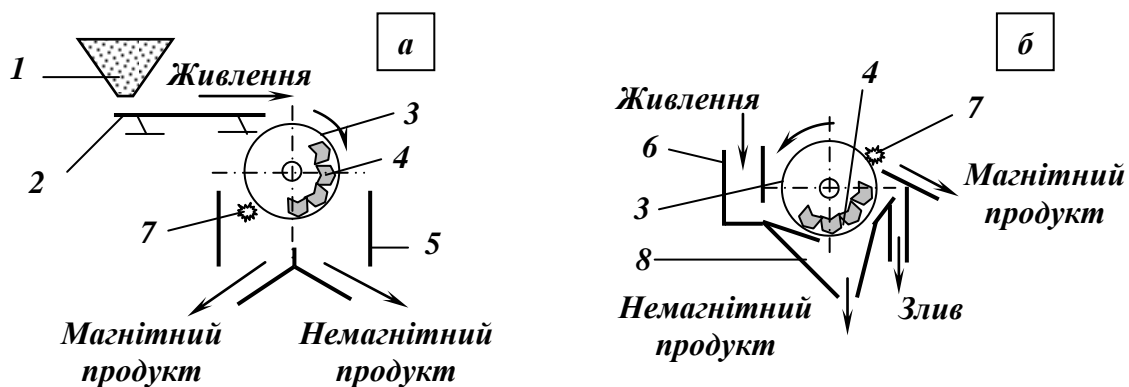


Рис. 5.15 – Схеми барабанних сепараторів.

а – сепаратор сухого збагачення; **б** – сепаратор мокрого збагачення.

1 – бункер руди; 2 – живильник; 3 – барабан; 4 – магнітна система;

5 – розвантажувальний короб; 6 – завантажувальний короб;

7 – щітка; 8 – ванна.

За призначенням барабанні сепаратори ділять на сепаратори для сухого збагачення грудкового матеріалу крупністю до 50 мм, відцентрові (швидкісні) сепаратори для сухого збагачення дрібних продуктів крупністю до 3 мм, сепаратори для мокрого збагачення дрібних продуктів крупністю до 5-0 мм і сепаратори для регенерації ферромагнітних обважнювачів крупністю до 1мм.

Вихідне живлення в робочу зону сепараторів для сухого збагачення подається переважно механічними живильниками, для мокрого – через завантажувальний короб. В сепаратори для сухого збагачення живлення подається на барабан, а в сепаратори для мокрого збагачення – під барабан.

На мінеральне зерно в неоднорідному магнітному полі сепаратора діє магнітна сила $F_{\text{магн}}$, що визначається за формулою:

$$F_{\text{магн}} = \mu_0 \chi H \text{grad} H, \text{ Н/кг}, \quad (5.16)$$

де χ – питома магнітна сприйнятливість, $\text{м}^3/\text{кг}$; $H \text{grad} H$ – магнітна сила поля, $\text{А}^2/\text{м}^3$.

Чим більша питома магнітна сприйнятливість, тим з більшою силою магнітне поле діє на мінеральне зерно. Мінеральні зерна, для яких магнітна сила більша суми протидіючих механічних сил (ваги, інерції, опору середовища, відцентрової і ін.), притягуються до полюсів магнітної системи і вилучаються у магнітний продукт. Мінеральні зерна з низькою магнітною сприйнятливістю практично не змінюють намагніченості, не взаємодіють з зовнішнім магнітним полем і рухаються у магнітному полі за траєкторіями, що залежать тільки від дії механічних сил. Ці мінеральні зерна вилучаються у немагнітний продукт. Таким чином, розділення мінеральних зерен в магнітному полі можливо при додержанні умови:

$$f_{1\text{магн}} > f_{\text{мех}} > f_{2\text{магн}}, \quad (5.17)$$

де $f_{1\text{магн}}$ і $f_{2\text{магн}}$ – питомі магнітні сили, що діють відповідно на рудні і нерудні зерна, Н/кг ; $f_{\text{мех}}$ – рівнодіюча усіх механічних сил, віднесених до маси зерна і спрямованих протилежно дії питомих магнітних сил $f_{1\text{магн}}$ і $f_{2\text{магн}}$.

Магнітні процеси збагачення широко використовуються як основні при збагаченні залізних і марганцевих руд і як доводочні при збагаченні різних руд кольорових і рідкісних металів. Магнітні процеси також використовуються в схемах регенерації магнетитових і феросиліцієвих суспензій при збагаченні різних руд кольорових і рідкісних металів. Крім того, магнітна сепарація може застосовуватися в комбінованих схемах спільно з іншими збагачувальними процесами – гравітаційним, флотаційним, електричним.

Електричне збагачення (електрична сепарація) – процес розділення мінералів з різними електричними властивостями, залежно від яких під дією електричного поля змінюються траєкторії їх руху.

При електричній сепарації використовують в основному такі електричні властивості мінералів як *електропровідність*, *діелектрична проникливість*, а також їх *здатність заряджуватися* під впливом деяких фізичних ефектів (*трибо-, піро- і п'єзоелектричний ефекти, контактний потенціал*). Процес електричної сепарації полягає у взаємодії електричного поля з зарядженою мінеральною частинкою. Результати взаємодії мінеральної частинки з електричним полем залежать від її електричних властивостей. При електричній сепарації використовують в основному різницю в електропровідності, діелектричній проникливості, електризації тертям і адгезії. Залежно від електропровідності усі мінерали розділяються на три групи:

- провідники з питомою електропровідністю $10^{-1} \leq \rho \leq 10^4$ См/м. До провідників належать самородні метали, багато сульфідних мінералів, графіт, ільменіт, рутил, титаномagnetит і ін.;

- напівпровідники з питомою електропровідністю $10^{-2} \leq \rho \leq 10^{-10}$ См/м. До напівпровідників відносяться гранат, лімоніт, гематит, сидерит, молібденіт, псиломелан, станін і ін.;

- непровідники з питомою електропровідністю $10^{-11} \leq \rho \leq 10^{-20}$ См/м. Непровідниками є алмаз, каситерит, циркон, шеєліт, кварц, кальцит і ін.

Електричний метод сепарації полягає у зміні траєкторії руху заряджених мінеральних частинок під дією електричного поля.

В електростатичних барабанних сепараторах (рис. 5.16) розділення частинок здійснюється за різницею у їх електропровідності.

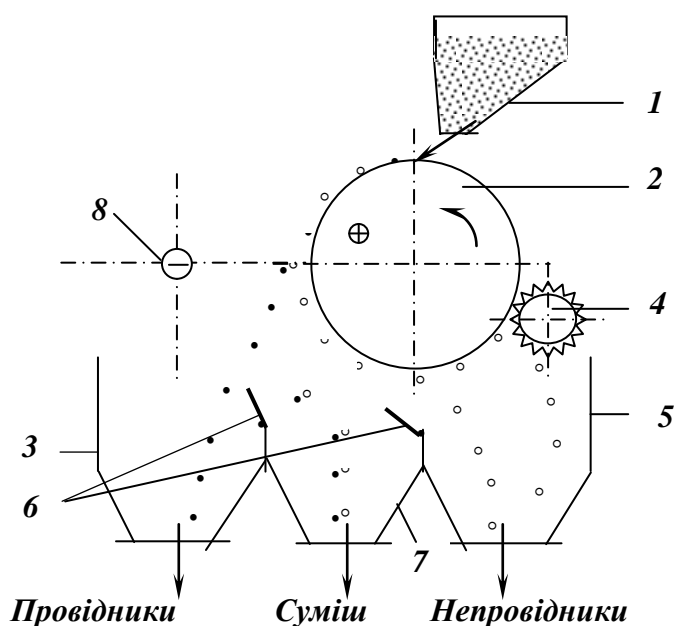


Рис. 5.16 – Схема електростатичного сепаратора.

- 1 – бункер;
- 2 – заряджений барабан;
- 3 – збірник провідників;
- 4 – щітка;
- 5 – збірник непровідників;
- 6 – шибер;
- 7 – збірник суміші мінералів;
- 8 – відхиляючий електрод.

Процес сепарації відбувається таким чином. Вихідний матеріал подається на заряджений барабан, що обертається. На поверхні барабану частинки провідників заряджаються швидко і в результаті взаємодії однойменних зарядів відштовхуються від барабану і падають у збірник провідників. Частинки непровідників заряджаються повільно, утримуються на барабані і знімаються щіткою у збірник непровідників. Кількість і якість провідникової і непровідникової фракцій регулюється шиберами. Суміш зерен різної електропровідності концентрується у окремому збірнику. Для збільшення кута відхилення провідників і підвищення ефективності розділення в сепаратори паралельно першому зарядженому барабану установлений другий відхиляючий барабан або електрод у вигляді стержня. Процес сепарації здійснюється більш успішно, якщо частинки додатково підзарядити, наприклад за допомогою йонізації.

Природну поверхневу електропровідність мінералів у ряді випадків можна змінити в необхідному напрямку обробкою їх спеціальними реагентами.

Електрична сепарація застосовується для збагачення зернистих сипучих матеріалів крупністю 0,05 – 3 мм, коли їхня переробка іншими методами неефективна або неекономічна. Для електричної сепарації використовуються поля з напруженістю близько $6 \cdot 10^5$ В/м при напрузі на електродах $U = 20 - 70$ кВ.

Спеціальні методи збагачення базуються на використанні різниці у зовнішньому вигляді розділюваних мінералів (колір, блиск, форма зерен), а також на використанні специфічних властивостей деяких мінералів (радіоактивність, здатність до люмінесценції, пружність, шорсткість поверхні тощо).

Радіометрична сепарація – механізований і автоматизований спосіб сортування мінералів з використанням їх відмінностей в γ -випромінюванні або послабленні проникаючих γ -променів.

На рис. 5.17 наведена схема стрічкового радіометричного сепаратора з розділовим механізмом шибера типу. Сепаратор складається із стрічкового конвеєра, датчика, екрана, шибера, електромагніта і радіометра.

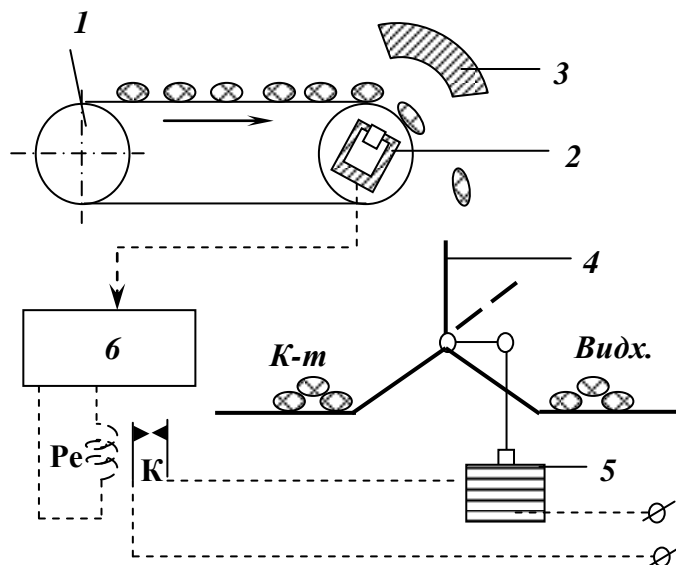


Рис. 5.17 Схема радіометричного сепаратора.
1 – конвеєр;
2 – датчик;
3 – екран;
4 – шибера;
5 – електромагніт;
6 – радіометр.

Вихідна руда подається на стрічковій конвеєр і моношаром переміщується до розділового шибера. Інтенсивність γ -випромінювання грудок руди реєструється датчиком радіометра, що розміщується у кінцевому барабані конвеєра. При підвищеній інтенсивності γ -випромінювання грудок руди радіометр через контакти **К** реле **Р_е** подає струм на обмотку електромагніту. Сердечник електромагніту втягується і за допомогою важеля повертає шибер так, щоб був відкритий збірник для концентрату. Пуста порода з низькою інтенсивністю γ -випромінювання направляється у збірник відходів, який у звичайному стані відкритий.

Перед збагаченням матеріал класифікується на вузькі класи, кожний клас збагачується окремо. Перевагою процесу радіометричної сепарації є висока селективність розділення.

Збагачення за тертям і формою зерен. Швидкість руху частинок по похилій площині залежить від стану похилої поверхні і поверхні самих частинок, їх форми, вологості, густини, крупності і характеру руху (кочення або ковзання). Основним параметром, що визначає рух мінеральних частинок по похилій площині, є коефіцієнт тертя (рис. 5.18).

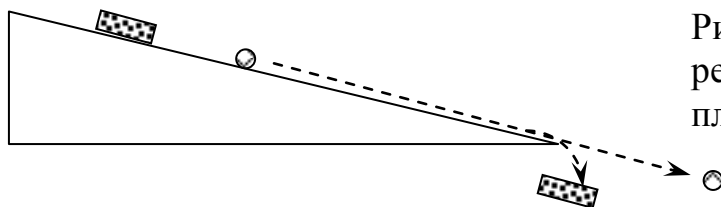


Рис. 5.18 – Траєкторії руху зерен різної форми на похилій площині.

Якщо на похилу площину помістити два зерна – сферичне і гладеньке мінеральне зерно, то останнє буде переміщуватися по похилій площині з більшою швидкістю, ніж шорсткувате і плоске. Кругле зерно буде перекочуватися і переборювати опір тертя кочення, а плоске – ковзати і переборювати опір більшого за величиною тертя ковзання. Таким чином, перше зерно на виході з похилої площини відлетить далі, ніж зерно з шорсткуватою поверхнею.

Збагачення за тертям і формою зерен застосовується при збагаченні азбестових руд, слюди і інших корисних копалин.

Вибіркове дроблення і декрепітація. Процес збагачення цими методами базується на вибіркового руйнуванні мінералів з різною механічною міцністю при дробленні і подрібненні (вибіркове дроблення) або на властивостях мінералів вибірково розтріскуватись при нагріванні і наступному швидкому охолодженні (декрепітація).

Руйнування корисної копалини при декрепітації відбувається в результаті різних теплопровідностей і коефіцієнтів розширення при нагріванні і охолодженні, що спричиняє сильні напруження, які приводять до розтріскування мінералів. Наявність у мінералах кристалічної води також приводить до руйнування кристалів при нагріванні.

Після дроблення, подрібнення і декрепітації збагачення може здійснюватись грохоченням, гравітацією або іншими процесами.

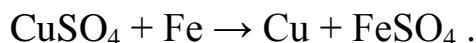
Промислове застосування вибіркового дроблення знайшло при збагаченні вугілля, горючих сланців, будівельних матеріалів та інших неметалічних корисних копалин. Декрепітація знайшла практичне використання при збагаченні сподуменових руд, але вона може бути застосована також і при збагаченні баритових, флюоритових та інших руд.

Гідрометалургійні процеси збагачення. Для збагачення комплексних руд і доводки деяких концентратів і промпродуктів поряд з механічними операціями збагачення використовують гідрометалургійні процеси. Гідрометалургійні процеси ґрунтуються на селективному розчиненні цінних компонентів руди або їх шкідливих домішок водними розчинами хімічних реагентів. Основні операції гідрометалургійного процесу такі: подрібнення вихідного матеріалу до крупності 0,2 – 0,074 мм, вилуговування мінералів, відділення розчину від твердої речовини, виділення корисних металів з розчинів хімічним осадженням або електролізом, зневоднення і сушка концентратів.

Найважливішою операцією гідрометалургійного процесу є вилуговування мінералів, при якому корисні компоненти переходять у розчин. За характером взаємодії мінералу з розчинником розрізняють просте або фізичне розчинення і хімічне, при якому відбуваються обмінні і окислювально-відновні процеси. Для вилуговування мінералів застосовують розчини вуглекислого натрію, вуглекислого амонію, аміаку, ціаністого калію, сірчаної, соляної і азотної кислот та ін. Вилуговування може здійснюватись або в результаті просочування через шар руди, або механічним перемішуванням подрібненої руди з розчинником. Перший спосіб вилуговування є найбільш дешевим і застосовується для грудкового матеріалу (понад 3 мм), оскільки при більш дрібному матеріалі швидкість просочування незначна і ефективність вилуговування знижується. Вилуговування просочуванням застосовується для вилучення міді з покинутих гірничих виробок і відвалів некондиційних руд, а також для вилучення міді з грудкового матеріалу в чанах. Розчинення окиснених мідних мінералів сірчаною кислотою протікає за реакціями:



Відділення розчину від твердої фази виконують згущенням або фільтруванням, після чого виділення металів з розчинів здійснюється різними методами. В технології збагачення золотовмісних, вольфрамових і молібденових руд застосовують екстракційні і сорбційні методи вилучення металів з розчинів. В мідній промисловості застосовують електроліз і цементацію міді залізною стружкою або скрапом:



Процес розчинення міді значно прискорюється при наявності у розчині деяких мікроорганізмів (бактерій).

Гідрометалургійні процеси застосовуються в технології виробництва алюмінію, при комплексній переробці нефелінів, в комбінованих схемах збагачення для вилучення молібдену, ніобію, свинцю і інших металів.

5.1.4 Заключні процеси

Основні заключні процеси – зневоднення, знепилення і пиловловлення.

Збагачення корисних копалин у більшості випадків здійснюється у водному або у важкому середовищі, тому продукти збагачення містять воду в кількості від 30 до 90 % . Для подальшої металургійної, хімічної переробки або транспортування з таких продуктів вода повинна бути видалена одним з процесів зневоднення.

Зневодненням називають процес видалення води з корисної копалини або з продукту збагачення. Розрізняють процеси механічного і термічного зневоднення. Механічні процеси зневоднення: дренавання, центрифугування, згущення і фільтрування, термічні – сушка.

Дренавання – процес видалення гравітаційної вологи з обводнених і мокрих грудкових і крупнозернистих продуктів шляхом природного просочування рідини через шар матеріалу або перфоровану перегородку під дією сил ваги. Перегородкою, що використовується для дренавання, може бути решето, сито, перфорований лист, шар щебеню, піску, булижника і т.п.

Дренавання здійснюється на дренажних складах, зневоднювальних бункерах, елеваторах і грохотах при крупності матеріалу до 200 мм.

Центрифугування – процес зневоднення дрібних мокрих продуктів і розділення суспензій на рідку і тверду фази під дією відцентро-

вих сил. Машини для здійснення таких операцій називаються центрифугами, які підрозділяються на фільтруючі і осаджувальні.

Фільтруючі центрифуги застосовуються в другій стадії зневоднення вугільних концентратів і промпродуктів крупністю 0,5 – 13 мм після їхнього попереднього зневоднення на вібраційних, конічних і дугових грохотах або в багер-зумпфах і елеваторах. Для зневоднення тонкоподрібнених продуктів і шламів можуть застосовуватися осаджувальні і осаджувально-фільтруючі центрифуги.

Згущення – процес зневоднення обводнених тонкозернистих продуктів (пульп, суспензій) осадженням твердої фази і виділенням рідкої фази в вигляді зливу. Процес згущення здійснюється в різних відстійниках, радіальних і циліндроконічних згущувачах, осаджувальних центрифугах і гідроциклонах.

При згущенні пульп у відстійниках, радіальних і циліндроконічних згущувачах осадження частинок відбувається під дією сили ваги, при згущенні в осаджувальних центрифугах і гідроциклонах – під дією відцентрових сил. Метою згущення є одержання кінцевого густого (згущеного) продукту і чистої рідкої фази (зливу).

Швидкість осадження частинок у згущувачах дуже мала, тому що розміри частинок в основному не перевищують 0,5 мм. Для інтенсифікації процесу згущення у пульпу додають спеціальні реагенти – коагулянти і флокулянти (вапно, луги, сірчана кислота, крохмаль, алюмінат натрію, поліакриламід, поліоксиетилен та ін.). Реагенти сприяють злипанню дрібніших частинок в крупні агрегати, що швидко осаджуються.

При використанні для згущення пульп гідроциклонів і осаджувальних центрифуг чистий злив як правило не виділяється.

Фільтрування – операція зневоднення дрібнозернистих пульп, що базується на примусовому відділенні з них води через пористу перегородку. Тверді частинки, що затримуються перегородкою, називаються кеком або осадом, а вода, що пройшла через перегородку – фільтратом. Як фільтруючі перегородки використовують різні спеціальні тканини: бавовняні, вовняні, капронові, нейлонові і інші, а також металеві сітки з отворами 0,15 – 0,25 мм. Фільтрація, звичайно, друга стадія зневоднення.

При фільтрації зневоднення твердої фази і видалення фільтрату здійснюється створенням перепаду тиску по обидві сторони фільтруючої поверхні. Залежно від способу створення перепаду тиску розріз-

няють вакуум-фільтри і фільтр-преси. В залежності від форми фільтруючої поверхні вакуум-фільтри підрозділяють на барабанні (з зовнішньою і внутрішньою фільтруючою поверхнею), дискові і стрічкові. Крупність матеріалу, що надходить на фільтрування, не перевищує 3 мм.

Вибір типу фільтру визначається характеристикою крупності твердої фази, її густиною, необхідними продуктивністю і вологістю кеку.

Термічна сушка – операція зневоднення вологих продуктів випаровуванням з них вологи у навколишнє повітряне середовище при їх нагріванні.

Сушка застосовується в тих випадках, коли механічні способи зневоднення (згущення, фільтрування, центрифугування) не дозволяють довести вміст вологи в дрібних і тонких продуктах збагачення до кондиційних вимог. Тому сушка є кінцевою стадією зневоднення дрібних і тонких продуктів.

Для сушіння продуктів збагачення застосовуються головним чином барабанні сушарки, труби-сушарки і сушарки киплячого шару.

Знепилення і пилоловлення. Джерелом утворення промислового пилу на збагачувальних фабриках є найдрібніші мінеральні частинки (крупністю не більше 0,5 мм), що містяться у корисній копалині, а також утворюються при її дробленні і сухому подрібненні, грохоченні, пневматичному збагаченні, сухій магнітній сепарації, електросепарації, транспортуванні сухих продуктів по жолобах і трубах, у пунктах перевантаження сухих продуктів, при роботі сушильних апаратів і т.д. Пил, що міститься у повітрі промислових приміщень, шкідливо впливає не тільки на здоров'я робітників, але й на механічний стан обладнання, може привести до пожежі і вибуху.

Зниження пилоутворення може бути досягнуто в результаті здійснення комплексу таких заходів:

- попереднє знепилення корисних копалин;
- усунення великих перепадів при транспортуванні корисних копалин;
- зволоження корисних копалин у допустимих межах;
- локалізація місць утворення пилу і відсмоктування з цих місць повітря;
- усунення місць підвищеного пилоутворення, а при їх наявності ретельна ізоляція.

Знепиленням називається процес видалення пилу з корисної копалини або продуктів збагачення. Процес знепилення базується на класифікації, тому що при цьому з продукту виділяється клас визначеної крупності, звичайно клас 0 – 0,5 мм. Продукти збагачення звичайно знепилюють двома способами: мокрим (на грохотах і у гідроциклонах) і сухим (на грохотах і повітряних класифікаторах).

Пиловловленням називається процес видалення пилу з газового середовища. Для очищення запиленого повітря та газу на збагачувальних фабриках застосовують механічні і електричні способи пиловловлення. До механічних належать способи, що використовують силу ваги, відцентрову силу, фільтрування через пористу перегородку і зрошення запиленого повітря водою. Вибір способу пиловловлення залежить від властивостей і цінності пилу, що вловлюється, необхідного ступеня очищення, температури повітря або газу, що очищується і т.п.

5.2 БРИКЕТУВАННЯ

Брикетування – процес термомеханічної переробки дрібних корисних копалин, концентратів і відходів виробництва з метою одержання з них брикетів – грудок однакової форми і постійних розмірів.

Основні види сировини для брикетування: дрібне вугілля і антрацити та їх концентрати, дрібні залізні руди і концентрати, сировина для виробництва феросплавів, різні відходи чорної металургії (окалина, стружка, металургійний пил, шлаки, шлами і ін.), руди і концентрати кольорової металургії.

Залежно від властивостей вихідної сировини брикетування може здійснюватись без зв'язуючих речовин (молоде буре вугілля, торф) при тиску 100 – 250 МПа і зі зв'язуючими (кам'яне вугілля, антрацитовий штиб, рудний дріб'язок) при тиску 20 – 80 МПа.

Брикетування зі зв'язуючими

Фізико-хімічні параметри процесу брикетування зі зв'язуючими речовинами залежать від способу брикетування, властивостей вихідної сировини, використаних зв'язуючих, умов ущільнення брикетів, а також від швидкості полімеризації зв'язуючих і утворення різних цементуючих речовин в структурі брикетів.

В практиці брикетування використовують рідкі і тверді зв'язуючі речовини: сульфід-спиртову барду, сульфідні луги, рідке скло, кам'яновугільну смолу, вапно, різні комбіновані зв'язуючі – суміш кам'яновугільної смоли і гудрону, сульфід-спиртової барди, вапняку і рідкого скла і ін.

Технологія брикетування кам'яного вугілля складається з підготовки дріб'язку за крупністю і його сушки, дозування і змішування зв'язуючих речовин з шихтою, охолодження і пресування шихти, обробки брикетів з метою їх найшвидшого затвердіння (охолодження, пропарка, карбонізація, сушка, відновний випал і ін.), складування і відвантаження брикетів.

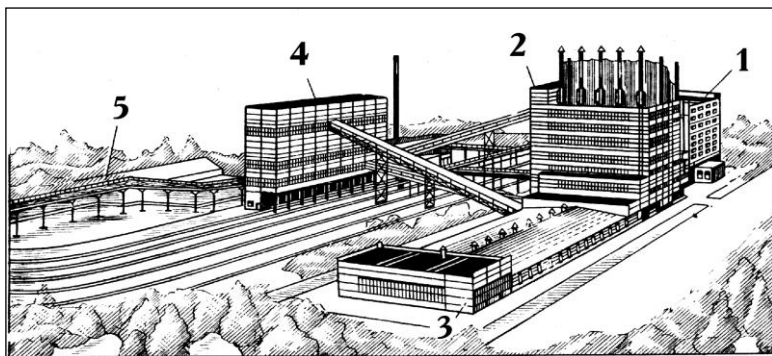


Рис. 5.19. Загальний вигляд кам'яновугільної брикетної фабрики:

- 1 – цех збагачення; 2 - сушильно-пресове відділення; 3 - секція охолодження брикетів;
- 4 – цех відвантаження брикетів;
- 5 - установка підготовки нафтозв'язуючого.

В *підготовчому комплексі* брикетувальної фабрики виконується класифікація вугілля на вібраційних грохотах за крупністю 6 мм. Вугілля крупніше за 6 мм дробиться в молоткових дробарках до крупності 2 мм і змішується з дрібним продуктом грохочення. Крупність сировини визначає ущільненість брикетів. Підви-

щений вміст зерен крупніше за 6 мм приводить до утворення крупних пор в структурі брикету і збільшення витрат зв'язуючого. Крім того, такі частинки під дією високого тиску пресування легко піддаються розтріскуванню з утворенням поверхонь, що не покриті зв'язуючим.

Зневоднення і нагрів сировини є обов'язковим технологічним етапом її підготовки. Цей етап здійснюється термічною сушкою в трубах-сушарках, барабанних сушарках і сушарках киплячого шару. Сушка дозволяє нагріти сировину, видалити з поверхні вологих частинок сировини гідратну плівку, поліпшити змочуваність частинок зв'язуючим і забезпечити міцний внутрішній зв'язок частинок у брикеті. Оптимальний вміст води після сушки 2 – 3 %. В результаті сушки сировина нагрівається до 60 – 80 °С, що сприяє тонкошаровому розподілу зв'язуючого на поверхні сировини.

Підготовка рідких зв'язуючих речовин (нафтопродукти, бітуми) полягає в їх нагріванні і зневодненні, після чого дозована кількість зв'язуючого подається в операцію змішування з вугіллям. Підготовка твердих зв'язуючих речовин полягає в дробленні і подрібненні до 1 – 3 мм, після чого дозована кількість зв'язуючого змішується з шихтою.

Змішування вугільної шихти зі зв'язуючими і її пропарювання виконується в спеціальних змішувальних апаратах при температурі 100 – 150 °С. В таких умовах зв'язуюча речовина рівномірно розподіляється в об'ємі вугільної маси. Після охолодження на 20 – 30 °С підготовлена брикетна суміш подається на пресування.

Пресування брикетної суміші виконується на вальцевих пресах (рис. 5.19) при тиску 20 – 80 МПа.

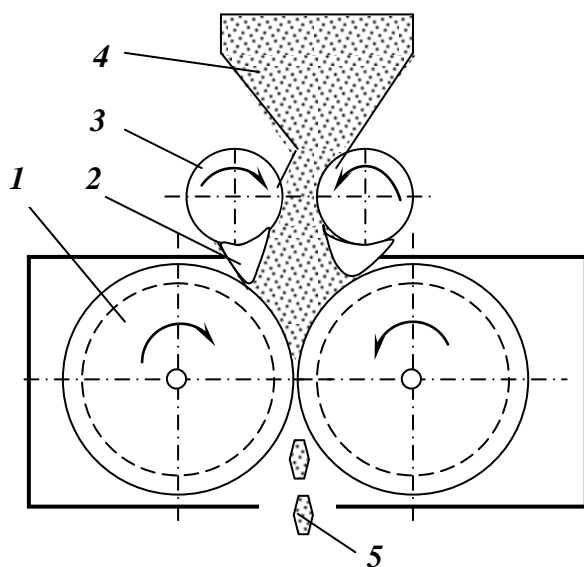


Рис. 5.19 – Схема вальцевого брикетного преса.

- 1 – брикетувальні валки;
- 2 – завантажувальна камера підпресованого матеріалу;
- 3 – підпресовуючі валки;
- 4 – завантажувальний бункер;
- 5 – брикети.

Підготовлена брикетна суміш із завантажувального бункера надходить у простір між двох підпресовуючих валків, що обертаються назустріч один одному. Підпресований матеріал акумулюється в завантажувальній камері, з якої він вивантажується під дією сил ваги і тертя в робочий простір між брикетувальними валками. На брикетувальних валках змонтовані бандажні кільця з чарунками у формі брикету. Правильний вибір розмірів і форми чарунок забезпечує рівномірне ущільнення брикетної суміші у всьому об'ємі чарунки і одержання міцних брикетів. Брикетувальні валки при обертанні захоплюють із завантажувальної камери підготовлений матеріал. Для повного і рівномірного заповнення чарунок сумішшю вона подається на валки під деяким натиском. У просторі між чарунками бандажних кілець матеріал спресовується, а коли чарунки розходяться з них випадає готовий брикет.

Тривалість утворення брикетів складає в середньому 0,4 – 0,5 с. *Охолодження і відвантаження* готових брикетів – заключна операція технологічного комплексу брикетування. Охолодження забезпечує необхідну механічну міцність готових брикетів. В процесі охолодження підвищується в'язкість зв'язуючого за рахунок зниження температури з 60 – 65 до 20 – 25 °С. Для охолодження брикетів потрібен визначений час їх перебування в атмосфері природного повітря або повітря, що подається примусово. Інтенсивність охолодження пропорційна відношенню об'єму брикету до його поверхні. Крупні брикети охолоджуються повільніше, ніж дрібні (маса вугільних брикетів – 30 – 360 г). Додатково охолоджувати брикети можна під час їх відвантаження у залізничні вагони.

Брикетування руд і концентратів чорних і кольорових металів зі зв'язуючими виконується за різними технологічними схемами в залежності від властивостей сировини і вимог споживачів. Як зв'язуючі використовують тверді і рідкі речовини (вапняк, різні цементи, сульфід-спиртову барду, рідке скло і ін.).

Підготовка рудної сировини до брикетування пов'язана із забезпеченням кондицій за крупністю, вмістом вологи і металу в руді. Крупність руди залежить від її твердості: для м'яких руд – не більше 1 мм, для руд середньої і високої твердості – 5-6 мм. Гранулометричний склад суттєво впливає на міцність брикетів. Наявність в руді переважно крупних зерен приводить до утворення структури брикетів з великими пустотами, які необхідно заповнювати зв'язуючими, що не тільки підвищує вартість брикетів, але й робить їх маломіцними і термічно нестійкими. При великому вмісті в руді пилоподібних класів необхідно інтенсивно перемішувати компоненти руди, підвищувати витрати зв'язуючих і тиск пресування. Наявність в матеріалі більше 6-8 % вологи негативно впливає на міцність брикетів. В кожному окре-

тому випадку залишковий вміст вологи визначається в залежності від властивостей руди, гранулометричного складу, розміру і форми зерен. Для руд крихких і пористих допускається при брикетуванні більший вміст вологи, ніж для руд щільних і кристалічних з низькими пористістю і водопоглинанням. Для сушки вологих дрібних продуктів (дрібних руд, флотоконцентратів, шлаків і ін.) використовують найчастіше барабанні газові сушарки.

Підготовка рідких зв'язуючих речовин полягає в їх нагріванні і зневодненні, твердих – в дробленні і подрібненні.

Завершальний етап підготовки брикетної суміші – *дозування* компонентів, їх старанне *перемішування*. В деяких схемах перемішування здійснюється в декілька стадій, що дає можливість більш рівномірно розподілити рудні складові і зв'язуюче в об'ємі брикетної суміші. Суміш, що недостатньо перемішана, неоднорідна за своїм складом і погано брикетується. Для одержання якісної брикетної суміші необхідно точне і рівномірне дозування її окремих компонентів.

Пресування рудної брикетної суміші виконується на пресах періодичної (штемпельні, столові) і безперервної (вальцеві, кільцеві) дії при тиску до 100 МПа.

Подальша підготовка брикетів до металургійного процесу зводиться до зміцнення їх структури в результаті підсилення механічних зв'язків і підвищення термічної стійкості. Звичайна операція охолодження не завжди може забезпечити необхідну міцність брикетів. Для додаткового зміцнення брикетів застосовують різні методи: сушку, карбонізацію, автоклавну обробку.

Брикетування без зв'язуючих

При брикетуванні без зв'язуючих речовин відбувається поступове заповнення пустот між частинками, потім ущільнюються і деформуються самі частинки і між ними виникають сили молекулярного зчеплення. Підвищення тиску і періоду перебування матеріалу під тиском приводить до зниження пружних деформацій і переходу їх в пластичні, внаслідок чого структура брикету зміцнюється.

Технологія брикетування молодого бурого вугілля і торфу складається з підготовчих операцій, сушки, пресування, охолодження і відвантаження брикетів.

Підготовка бурого вугілля за крупністю зводиться до забезпечення оптимального гранулометричного складу. Залежно від вихідної крупності вугілля піддається одно- або двостадійному дробленню. Дроблений до 6 мм матеріал направляється на сушку, де його вологість знижується до 16 – 19 %. На швидкість і тривалість сушки впливають природа бурого вугілля, вміст вихідної вологи, крупність, пи-

тома продуктивність сушарки, інтенсивність перемішування матеріалу при русі по сушарці, температура, вологість і швидкість подачі теплового агента. Сушка бурого вугілля звичайно здійснюється в парових сушарках. Оскільки вугілля після сушки має достатньо високу температуру (70-85 °C), охолодження його є обов'язковою операцією перед пресуванням.

Пресування – основний процес в технології брикетування бурого вугілля. В процесі пресування під дією високих механічних зусиль (80 – 120 МПа) відбувається обтискування вугільного дріб'язку, в результаті чого він перетворюється у брикет. Маса буровугільних брикетів складає 300 – 600 г. Брикетування бурого вугілля здійснюється в штемпельних, рідше в кільцевих пресах. Брикети після пресування мають температуру 70 – 80 °C, тому перед відвантаженням вони повинні охолоджуватись (в охолоджувальних жолобах або конвеєрах). Брикети повинні зберігатись на складах закритого типу, щоб уникнути атмосферного впливу.

Технологія брикетування торфу не відрізняється від буровугільної.

В практиці *брикетування рудної сировини* і відходів чорної металургії широке розповсюдження здобув процес гарячого брикетування. Сутність його зводиться до спікання зерен частково відновленої руди при температурі 800 – 1100 °C і брикетуванню в нагрітому стані при тиску до 100 МПа. Для одержання якісних брикетів ступінь відновлення руди повинна бути близько 50 %. Основні вузли установок цього типу: відділення підготовки, нагріву, гарячого брикетування на вальцевих пресах високого тиску і охолодження брикетів.

Загальні вимоги до брикетів – їх високі фізико-механічні властивості (в т.ч. термо- і водостійкість). За хімічним складом до вугільних брикетів висуваються вимоги, щодо зольності, вологості і теплоти згоряння. Додаткові вимоги до рудних брикетів охоплюють деякі металургійні і фізичні властивості (відновлюваність, газопроникненість, пористість, термомеханічна міцність і ін.).

Собівартість 1 т рудних брикетів на 20 – 50 % нижче собівартості агломерату і на 10 – 30 % нижче собівартості обкотишів з випалом.

5.3 ОБКАТУВАННЯ

Обкатування – процес грудкування зволжених тонкоподрібнених матеріалів, оснований на їх здатності при перекочуванні утворювати гранули сферичної форми (*обкотиші*) без застосування безпосереднього тиску. Для зміцнення зволожені обкотиші сушать, випалюють, піддають іншим видам обробки.

Процес одержання випалених обкотишів складається з трьох основних стадій: підготовки компонентів шихти до обкатування, одержання вологих обкотишів і їх зміцнювального випалу. Вихідними матеріалами, що використовують для обкатування, можуть бути: концентрат, дрібна руда, вапняк, зв'язуючі домішки, вода, тверде, рідке і газоподібне паливо.

Попередня підготовка матеріалів до обкатування полягає в усередненні концентрату, подрібненні флюсових і зв'язуючих домішок (бентоніту, вапняку і т.п.), а при несприятливому гранулометричному складі і в подрібненні концентрату і руди. Наступною операцією при підготовці до обкатування є дозування компонентів шихти. Для усереднення шихти за фізичними властивостями і хімічним складом її перед обкатуванням змішують в шнекових, роторних і барабанних змішувачах. При виробництві неофлюсованих обкотишів змішування виконують в одну стадію. При виробництві офлюсованих обкотишів до змішування висувають більш високі вимоги, тому змішування виконують в дві або три стадії.

Обкатування виконується в барабанних і тарільчатих обкатувачах. Вибір і регулювання параметрів операції обкатування (кут нахилу чаші, частота обертання, вихідне шихтове навантаження) здійснюють у кожному конкретному випадку в залежності від властивостей шихти і необхідної крупності обкотишів.

До процесу обкатування надходять тонкоподрібнені концентрати корисних копалин, які в основному є гідрофільними речовинами. При взаємодії з водою тонкі частинки концентрату утворюють окремі агрегати – «зародкові грудки». При русі матеріалу по обертальній поверхні апарату для обкатування вологі частинки накатуються на поверхню «зародкової грудки» і утворюють сферичні обкотиші.

Роль води в процесі обкатування вирішальна, тому що визначає умови утворення обкотишів. Її оптимальний вміст залежить від хіміко-мінералогічних властивостей частинок, їх форми, вологості і т.п. Вологість шихти в кожному конкретному випадку визначається експериментально (вологість магнетитових і гематитових концентратів складає 8 – 10 %, бурих залізняків – 20 – 25 %, рудного дріб'язку – 6 – 8 % і т.д.). Зниження вологості в процесі обкатування приводить до зменшення пластичності обкотишів, порушенню гранулометричного складу і зниженню продуктивності обладнання. Збільшення вологості викликає зниження міцності обкотишів, надмірне підвищення їх пластичності, в результаті чого обкотиші злипаються в грязеві грудки.

Під дією тиску, що виникає у точці контакту обкотишів з площинною обертання, відбувається їх ущільнення з утворенням однорідної структури. Найбільш ефективно обкатуються тонкі концентрати

крупністю 90-95 % класу $-0,056$ мм. При введенні в шихту різних домішок їх крупність повинна відповідати крупності шихти. Як зв'язуючі і ущільнюючі домішки використовують гідрофільні вологоємні матеріали, що утворюють з водою стійкі суспензії. Найбільше поширена домішка – бентоніт, невелика добавка якого (до 1 %) підвищує міцність зволжених, висушених і випалених обкотишів.

Випалювання обкотишів виконується в агрегатах трьох типів: конвеєрних випалювальних машинах, комбінованих установках (колосникова решітка – трубчаста піч) і в шахтних печах. При випалюванні обкотиші послідовно проходять стадії сушки, підігріву, випалу і охолодження. При використанні шахтних печей і конвеєрних машин всі операції послідовно здійснюються в одному агрегаті. Вибір способу випалювання визначається властивостями обкотишів, виробничою потужністю підприємства і економічними міркуваннями.

Сушка є першою стадією термозміцнення обкотишів. Вона проводиться в щільному шарі, через який подають гарячі гази. Температура газів на вході в шар вологих обкотишів складає $250 - 400$ °С.

Зміцнюючому випалу обкотиші підлягають після сушки. Він полягає в поступовому нагріванні обкотишів гарячими газами до $1250-1300$ °С. Зміцнення обкотишів з магнетитових концентратів відбувається в результаті твердофазного спікання окремих зерен концентрату, окиснення магнетиту в гематит і часткового утворення шлакового зв'язку при розм'якшенні пустої породи. Оскільки випалювання обкотишів з магнетитових концентратів пов'язане з реакцією окиснення, склад газів, в атмосфері яких проводиться випалювання, повинен бути окиснювальним (вміст кисню в газах – 10-15 %). Випалювання обкотишів з гематитових концентратів пов'язане не з окисненням, а тільки з твердофазним спіканням рудних частинок і утворенням в обкотишах шлакових зв'язків. На технологію випалювання і якість випалених обкотишів впливає їх розмір. Тривалість окиснення в дифузійному режимі прямо пропорційна квадрату їх діаметра. Крім того, зі зменшенням крупності обкотишів зростає їх міцність при відновленні. Структура випалених обкотишів значною мірою залежить від режиму процесу випалювання. Кращими металургійними властивостями володіють достатньо повно окиснені обкотиші з зернами магнетиту частково зцементованими шлаковим зв'язком. В результаті випалювання обкотиші набувають здатності не руйнуватися при перевантаженнях і при нагріванні в доменних печах.

Охолодження обкотишів – заключна операція термозміцнюючого випалювання. Операція охолодження може здійснюватися або в тих же апаратах, що й випалювання, або в окремих охолоджувачах. Температура охолоджених обкотишів не повинна перевищувати $100 - 130$ °С.

Зміцнені обкотиші, які одержують з тонкоподрібнених концентратів, однорідні за крупністю і хімічним складом, мають добру відновлюючу здатність і достатню міцність при перевантаженні.

Обкатування використовується для підготовки тонкоподрібнених і пилоподібних матеріалів до металургійного переділу і транспортування їх на великі відстані. Переважне поширення обкатування набуло для залізрудних концентратів. Обкатуванню піддають також хромові, фосфористі і флюоритові концентрати, а в деяких випадках й концентрати руд кольорових металів.

5.4 АГЛОМЕРАЦІЯ

Агломерація – спосіб термохімічного грудкування дрібних матеріалів, частіше всього рудної шихти – рудного дріб'язку і концентратів, пиловатих руд, колошникового пилу – для покращання їх металургійних властивостей. Здійснюється за рахунок часткового розплавлення рудних частинок теплом, яке виділяється при згорянні палива в шарі шихти при просмоктуванні через нього повітря.

Агломераційна шихта складається з рудної частини, ретуру (дрібного некондиційного агломерату від попереднього спікання), палива (коксика, антрациту), флюсу (вапняку, доломіту), різних домішок (колошникового пилу, піритних недогарків, окалини і ін.). Максимальний розмір частинок руди і повернення – 6 – 8 мм, коксика і вапняку – 3 мм.

Технологія агломерації складається з таких послідовних операцій: підготовка компонентів шихти, їх дозування і змішування, власне агломерація, обробка готового агломерату.

Першим етапом *підготовки компонентів шихти* є дроблення коксика і вапняку до 3 мм. Руда, концентрат, ретур, домішки, як правило, дроблення не потребують. Неодмінною умовою одержання якісного агломерату є усереднення компонентів шихти. Усереднені компоненти шихти дозуються в заданому складі, старанно перемішуються і подаються в процес агломерації.

Процес *агломерації* починається з укладки постелі на агломераційну машину. Постіль – шар дрібного агломерату (ретур), що укладається перед завантаженням шихти на колосники агломераційної машини, щоб запобігти надмірного нагріву колосників, просипу дрібних частинок під машину, забивання колосників вологою шихтою і приплавлення пирога агломерату до колосників. На агломераційну постіль рівномірним шаром укладається шихта і запалюється тверде паливо, що міститься в шихті, і таким чином, починається процес агломерації.

Принцип агломерації полягає в тому, що через шар дрібного рудного матеріалу змішаного з зернистим твердим паливом просмоктується повітря. Внаслідок цього зона горіння, де відбувається розм'якшення, плавлення рудного матеріалу і формування агломерату, безперервно переміщується вниз, упроваджується в неспечену шихту і залишає за собою шар готового агломерату. При спіканні шихта зазнає ряд складних різноманітних фізичних і хіміко-мінералогічних перетворень.

Різнманітні хіміко-мінералогічні перетворення при агломерації визначаються складом шихти і газової фази. При агломерації залізорудних матеріалів хід процесів і остаточний склад агломерату залежать від двох факторів: ступеня окиснення матеріалу (Fe^{+3} ; Fe^{+2}) і основності шихти (відношення $\text{CaO} : \text{SiO}_2$). Агломераційний процес є окиснювально-відновним. В мікрооб'ємах, де немає палива, йдуть окиснювальні процеси, а там, де знаходяться розпечені частинки палива, відбувається відновлення оксидів заліза. Тому матеріал, що агломерується, спочатку частково відновлюється, а потім (після вигорання палива) – окиснюється. Хіміко-мінералогічні процеси в твердих фазах набувають значного розвитку при температурах 600 – 800 °C. При агломерації залізорудних матеріалів в результаті взаємодії основних сполук шихти Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CaO , SiO_2 в твердих фазах будуть утворюватись такі мінерали: ферит $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (500 °C), двокальцевий силікат CaFeSiO_4 (550 °C) і фаяліт $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ (900 °C). Кількість нових мінералів, що утворюються в твердих фазах, мала, тому що тривалість і температури взаємодії невеликі. Однак ці мінерали справляють значний вплив на подальший розвиток процесів металоутворення, тому що саме вони дають перші порції рідкої фази – розплаву. При нормальному ході процесу агломерації більша частина шихти проходить через плавлення (максимальна температура при агломерації – 1300 °C). Таким чином, залізорудний агломерат є продуктом кристалізації залізистого силікатного розплаву різної основності.

Формування фізичної структури агломерату – процес перетворення дрібних рудних частинок в грудковий продукт, що відповідає вимогам металургійної плавки. Цей процес протікає в два етапи: спікання в твердих фазах і спікання за участю рідких фаз – розплаву. Твердофазне спікання не відіграє значної ролі у формуванні фізичної структури агломерату внаслідок відносно низьких температур (700 – 1100 °C) і малої тривалості їх дії (30 с). Роль цього етапу полягає в тому, що нові утворені мінерали мають невисоку температуру плавлення і дають перші порції розплаву. Тільки внаслідок наявності розплаву стає можливим за невеликий час дії максимальних температур (1,5 – 2,5 хв.) зв'язати рудні зерна в пористий, але достатньо міцний

пиріг агломерату. Основними факторами в системі “сипкий матеріал – розплав” є капілярні. Найважливішими властивостями агломераційних розплавів, що забезпечують швидке змочування рудних частинок, проникнення в дрібні пори між ними і їх зв’язування, є поверхневий натяг, в’язкість, здатність змочувати тверду фазу. Формування агломерату починається з моменту появи розплавів навколо гарячих частинок коксу при температурі близько 1200 °С. Розрізняють три основних типи мікроструктур агломератів:

- найміцнішу дрібнопористу губчасту структуру з відносно рівномірно розподіленими порами розміром до 4 мм. Формуванню такої структури сприяють дрібна і однорідна за крупністю шихта з високою середньою густиною, відносно низькі витрати палива, порівняно широкий температурний інтервал плавлення і підвищена в’язкість розплаву. Така структура характерна для достатньо міцного неофлюсованого агломерату, що добре відновлюється; він виробляється з магнетитових концентратів з дрібним ретуром при вмісті вуглецю в шихті 2,5 – 3,5 %;

- найменш міцну грубо-пористу структуру з нерівномірно розподіленими усадочними порами розміром до 15 мм, яку одержують при середніх витратах палива. Утворення такої мікроструктури обумовлене зниженою середньою густиною шихти, вузьким температурним інтервалом плавлення і низькою в’язкістю розплаву. Така структура характерна для офлюсованого агломерату з основністю 1,2 – 1,5;

- монолітну структуру, що характеризується наявністю у спікливому об’ємі окремих монолітних ділянок застиглого розплаву розміром 15 – 20 мм і більше, які зв’язані між собою перемичками, і таких же за об’ємом усадочних раковин. Такий спік розламується по перемичках на грудки розміром 10 – 25 мм. Ці грудки мають високу міцність, але знижену відновність. Така структура утворюється при підвищених витратах палива.

Готовий агломерат скидається зі стрічки агломераційної машини і надходить на дроблення, охолодження до температури до 80 – 100 °С. Ретур (агломерат крупністю до 5 мм) відсіюють. Оптимальна крупність агломерату для доменних печей 5 – 60 мм. Високоякісний доменний агломерат містить незначну кількість дріб’язку і має достатню міцність, що дозволяє транспортувати його до доменних печей без руйнування. Висока пористість і правильно підібраний мінералогічний склад забезпечують високу швидкість відновлення заліза, що міститься в ньому як магнетит Fe_3O_4 , ферити кальцію $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ і силікати CaFeSiO_4 . Агломерат виробляється, в основному, офлюсованим –

з добавкою до руди вапняку CaCO_3 і вапна CaO , що дозволяє значно підвищити показники роботи доменних печей.

Контрольні запитання

1. Призначення первинної переробки корисних копалин.
2. Класифікація процесів збагачення корисних копалин.
3. Які зусилля використовуються при руйнуванні грудок корисних копалин?
4. Опишіть конструкції і принцип дії дробарок і млинів.
5. Як здійснюється розділення корисних копалин за крупністю?
6. Опишіть конструкції і принцип дії грохотів.
7. Які основні властивості мінералів використовуються при гравітаційному розділенні корисних копалин?
8. Опишіть конструкції і принцип дії важкосередовищних сепараторів і гідроциклонів.
9. Опишіть конструкції і принцип дії відсаджувальних машин.
10. Опишіть конструкції і принцип дії концентраційних столів.
11. Опишіть конструкції і принцип дії гвинтових сепараторів.
12. Які основні властивості мінералів використовуються при флотаційному збагаченні корисних копалин?
13. Класифікація флотаційних реагентів.
14. Опишіть конструкцію і принцип дії флотаційних машин.
15. Які основні властивості мінералів використаються при магнітному збагаченні корисних копалин?
16. Опишіть конструкції і принцип дії магнітних сепараторів.
17. Які основні властивості мінералів використаються при електричному збагаченні корисних копалин?
18. Опишіть конструкції і принцип дії електричних сепараторів.
19. Опишіть спеціальні методи збагачення корисних копалин.
20. Опишіть процеси зневоднення продуктів збагачення.
21. Яке призначення процесів знепилення і пиловловлення?
22. Опишіть технологію процесу брикетування зі зв'язуючими.
23. Опишіть технологію процесу брикетування без зв'язуючих.
24. Опишіть технологію процесу обкатування.
25. Опишіть технологію процесу агломерації.

6. КОКСОХІМІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО

Мета розділу: вивчення процесів коксохімічного виробництва.

6.1 КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

Коксування – метод термічної переробки вугілля, що полягає в його нагріванні без доступу повітря до 1000-1100 °С і витримці при цій температурі, в результаті чого паливо розкладається з утворенням летких речовин і твердого залишку – коксу. Кокс використовується як відновник і паливо в металургійній промисловості, а леткі речовини служать сировиною для виробництва різних хімічних продуктів. Процес коксування складається з трьох стадій: підготовки сировини, власне коксування і переробки коксового газу.

Сировиною для коксування служить суміш кам'яного вугілля, що здатна при нагріванні спікатись (тобто розм'якшуватись і злипатись в спільну масу). Таку здатність має коксівне вугілля марок К, ОС, Ж, Г. *Шихта* для коксування, як правило, складається з суміші вугілля різних марок в різних співвідношеннях, але при цьому враховують специфічні властивості вугілля окремих технологічних марок:

- вугілля марки Г (газове) характеризується невеликою товщиною пластичного шару, високим виходом летких речовин і підвищеною усадкою. Кокс з газового вугілля має високу реакційну здатність, присутність його в шихті підсилює усадку «коксового пирога» і полегшує видачу його з печі, а також збільшує вихід газу і хімічних продуктів коксування;

- вугілля марки Ж (жирне) є головним компонентом шихти, тому що забезпечує добру спікливість і додає коксу міцності. Однак при їх підвищеному вмісті кокс виходить тріщинуватий і дрібногрудковий. Жирне вугілля сприяє підвищеному виходу смоли, бензолу і газу;

- вугілля марки К (коксівне) надає коксу необхідну механічну міцність і однорідність за крупністю грудок;

- вугілля марки ПС (піснувате спікливе) знижує усадку, в результаті чого зменшується тріщинуватість коксу, а крупність його підвищується, зростає стираність коксу, зменшується вихід газу і хімічних продуктів.

Перед підготовкою шихти до коксування вугілля збагачують для зниження їх зольності до 5 – 7 %, а потім дроблять і розсівають для одержання однорідної суміші крупністю 90 – 95 % класу – 3 мм.

Процес коксування здійснюється в коксових батареях, які складаються з десятків вузьких камер, розташованих паралельно. Процес коксування починається із завантаження камер вугільною шихтою. Коксування звичайно здійснюється з зовнішнім підводом тепла. Під

дією тепла вугілля прогрівається, сушиться і при температурі 350 – 450 °С розм'якшується і перетворюється в напіврідку пластичну масу, одночасно починається виділення летких речовин. При температурі 500 – 550 °С відбувається інтенсивне виділення смоли і продовжується виділення летких речовин. В результаті розм'якшення і виділення газів вугілля спучується і набирає пористої будови. Поступово в'язка маса густіє, твердіє (спікається) і утворює «коковий піріг», який до кінця процесу зменшується в об'ємі і розтріскується на окремі грудки. По мірі збільшення температури коксування зростає об'єм прямого коксового газу, що може бути використаний як газоподібне паливо (його теплота згоряння – 21-23 МДж/м³). При підвищенні кінцевої температури коксування до 1000 – 1150 °С зростає вихід смоли і сирого бензолу.

В результаті коксування одержують 75 – 80 % коксу, 10 – 15 % коксового газу, 1 % бензолу, 3 % смол.

Процес коксування триває 13 – 14 годин, по закінченні його кокс (з теплотою згоряння 29 – 31 МДж/кг) виштовхують з камери в гасильний вагон і заливають водою (гасять). Найважливіші властивості коксу – гранулометричний склад і механічна міцність.

Головним споживачем крупних класів коксу є чорна металургія. Крупний кокс (клас +25 мм) використовують також в кольоровій металургії при виплавці міді, свинцю, нікелю, в хімічній промисловості як відновник для отримання сульфїду натрію, цинкових білил, вуглекислого газу, сухого льоду, для випалювання вапняку, як висококалорійне бездимне паливо для комунально-побутових і промислових цілей і ін. Кокс середньої крупності (5-25 мм) застосовується в електро-термічному виробництві для одержання феросплавів, карбїду кальцію, цинку, жовтого фосфору і ін., дрібний кокс (–5 мм) використовується як паливо.

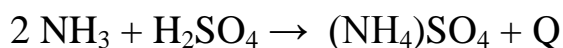
Газ, що утворюється при коксуванні, містить багато цінних речовин. Крім водню, метану, оксидів вуглецю до його складу входять пари кам'яновугільної смоли, бензол, аміак, сірководень і ін. Парогазову суміш, що відходить з коксових камер, уловлюють і відводять в цех конденсації на переробку. Продукцію коксохімії за глибиною переробки можна розділити на три групи:

- продукти, що безпосередньо вловлюються з коксового газу (кам'яновугільна смола, бензол, аміак, сірководень і ін.);
- продукти первинної переробки смоли і бензолу;
- продукти вторинної переробки смоли і бензолу.

Коксовий газ охолоджується до температури 25 – 30 °С, при цьому він конденсується і з нього виділяється смола, підсмольна (аміачна) вода. Кам'яновугільна смола містить близько 300 органічних речовин,

тому вона піддається розгонці на фракції, для чого використовується відмінність в температурах конденсації вуглеводнів, що складають смолу. Далі смолу нагрівають до температури 380 – 400 °С і її пари після відділення невивареного залишку (пеку) виводять в ректифікаційні колони. Пари при проходженні через колони охолоджуються, конденсуються і перетворюються в ряд окремих фракцій. Ректифікацією з смоли отримують фракції: при температурах до 170 °С – легке масло, при 170 – 210 °С – фенольну фракцію, при 210 – 230 °С – нафталінову фракцію, при 230 – 270 °С – поглинальне масло, при 270 – 360 °С – антраценову фракцію, залишок – пек.

Другий етап переробки коксового газу – уловлення аміаку з газу і підсмольної води. Звичайно аміак уловлюють 76 – 78 %-ною сірчаною кислотою, при цьому він перетворюється в сульфат амонію, який використовується як азотне добриво:



Високий вміст водню в коксовому газі дуже вигідний для одержання азотноводневої суміші, що використовується при виробництві аміаку.

Наступний етап – вилучення сирого бензолу. Для цього газ пропускають через мінеральне масло, яке добре розчиняє бензол. Потім масло нагрівають гострим водяним паром, відганяють бензол, а масло знову направляють в операцію поглинання бензолу. Сирий бензол – рідина, яка містить бензол, толуол, ксилол і інші вуглеводні. Сирий бензол розділяють на фракції ректифікацією (випаруванням з подальшою конденсацією парів). Отримані напівпродукти піддають очищенню і вторинній ректифікації, в результаті чого одержують чисті бензол, толуол, ксилол, сольвент і сірководень. З бензолу можна добути фенол, сульфонал, анілінові барвники, стирол, нітробензол, отрутохімікати, лаки, синтетичні смоли і багато інших продуктів.

На закінчення коксовий газ направляють у скрубери, що зрошуються розчином соди, для вилучення сірководню, який використовується для виробництва сірки і сірчаної кислоти.

Звільнений від смоли, аміаку, сирого бензолу і сірководню газ називають зворотним. В ньому залишається ще 50 – 60 % водню, 23 – 28 % метану, 5 – 7 % оксиду вуглецю і інші речовини. Зворотний газ використовується як паливо, а також як сировина для виробництва етиленових продуктів (етилбензол, дихлоретан і ін.).

Таким чином, при коксуванні поряд з виробництвом коксу отримують газоподібні і рідкі продукти, які можуть бути використані в синтезі полімерних сполук, лаків, фарб, хімічних засобів захисту рослин, лікарських препаратів і ін. Коксохімія – один з основних виробників сировини для органічного синтезу.

6.2 НАПІВКОКСУВАННЯ

Напівкоксування – процес термічної переробки твердого палива (вугілля, паливних сланців, торфу) шляхом нагрівання його в спеціальних печах без доступу повітря до температури 500 – 550 °С. Основні продукти напівкоксування: напівкокс (55 – 70 %), первинна смола (10 – 40 %), первинний газ (5 %).

Для напівкоксування використовують в основному вугілля з високим виходом летких речовин, що дають великий вихід первинної смоли. Вихід первинної смоли і напівкоксу залежить від якості вихідної сировини, конструкції і режиму роботи печей.

Процес напівкоксування складається з двох основних стадій:

- при температурі 320 – 480 °С інтенсивно виділяються пари смоли, газу і утворюється пластична маса;
- при температурі 480 – 550 °С продовжується деструкція твердих залишків з утворенням і виділенням рідких і газоподібних продуктів, а також утворюється твердий напівкокс.

Для напівкоксування використовують декілька типів печей (реакторів), які відрізняються в основному типом теплоносія (газовий, твердий) і системою обігріву (внутрішній, зовнішній). Реактори повинні забезпечити максимальний вихід смоли, рівномірний за властивостями напівкокс, високу продуктивність при мінімальній витраті тепла на проведення процесу.

Напівкоксування торфу і горючих сланців здійснюється за технологією аналогічною напівкоксуванню вугілля.

Напівкокс використовується як енергетичне паливо, як відновник в деяких металургійних процесах, для добування карбїду кальцію і ін.; первинний газ – як сировина для хімічного синтезу і як паливо; первинна смола – для переробки в різні рідкі палива (бензин, лігроїн, соляр), масла, розчинники і ін.

6.3 ДЕСТРУКТИВНА ГІДРОГЕНІЗАЦІЯ

Деструктивна гідрогенізація – сукупність термохімічних процесів, що відбуваються при діянні водню на органічну речовину. Деструктивна гідрогенізація застосовується для одержання з твердих паливних копалин синтетичного рідкого палива. При деструктивній гідрогенізації відбувається зрідження вихідного продукту і насичення його воднем.

Сировиною для деструктивної гідрогенізації є кам'яне і буре вугілля, сланці. Але для процесу деструктивної гідрогенізації придатні

лише ті тверді паливні копалини, в яких відношення $C : H = 8-16$, а вихід летких речовин на горючу масу не менше 35–36 %. Вугілля перед процесом деструктивної гідрогенізації дроблять, подрібнюють, збагачують і сушать. Тонкоподрібнений вугільний порошок змішують з важким маслом для отримання паливно-масляної пасти (може бути одержана також масляною агломерацією вугілля), яка надходить у гідрогенізаційні автоклави. При гідрогенізації протікають реакції: гідрування з приєднанням водню, розщеплення гідрованих високомолекулярних речовин на низькомолекулярні, ізомеризація, відновлення кисневих, сірчаних і азотистих сполук, що супроводжується відщепленням від них гетероатомів і утворенням води, сірководню, аміаку. В результаті деструктивної гідрогенізації високомолекулярні органічні речовини перетворюються в суміш низькомолекулярних сполук, які насичені воднем. В залежності від умов процесу і глибини перетворення органічної маси вихідного твердого палива гідрогенізація дозволяє перетворювати його в високоякісне моторне паливо (бензин, дизельне і ракетне паливо), котельне паливо і сировину для органічного синтезу, в т.ч. моно- і поліциклічні ароматичні вуглеводні, феноли, азотисті основи. Найбільший вихід рідких продуктів досягається при гідрогенізації вугілля невисокої стадії метаморфізму (бурого, газового, довгополуменевого). Перша ступінь гідрогенізації твердого палива – рідкофазна гідрогенізація, яка здійснюється при температурі 400 – 500 °С, тиску 10 – 70 Па в присутності сіркостійкого каталізатора і розчинника. Розчинником можуть служити продукти, що утворилися в самому процесі (гідрогенізат). Рідкі продукти, що утворилися в першій стадії, переробляються в подальших ступенях шляхом парової гідрогенізації.

В результаті деструктивної гідрогенізації з 1 т сировини може бути одержано до 800 кг продуктів.

Контрольні запитання

- 1. Яке призначення коксування?*
- 2. Опишіть технологію процесу коксування.*
- 3. Які продукти одержують в результаті коксування?*
- 4. Як використовують продукти напівкоксування?*
- 5. Призначення процесу деструктивної гідрогенізації?*

7. МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО

Мета розділу: вивчення процесів металургійного виробництва.

Металургія – галузь промисловості, що охоплює процеси одержання металів з руд або інших матеріалів; процеси, які надають металевим сплавам визначені властивості зміною їх хімічного складу і структури, а також процеси надання металу визначеної форми.

В природі небагато металів зустрічається в чистому вигляді, більшість з них знаходиться у вигляді хімічних сполук з іншими речовинами. Метали одержують двома способами: гідро- і пірометалургійним. Гідрометалургійний спосіб полягає в вилуговуванні металів в розчині з подальшим виділенням їх електролізом або іншим способом, пірометалургійний – у виплавці металів.

Приблизно 90 % всіх застосовуваних для різних цілей металів складає залізо і його сплави. Виробництво залізних сплавів на заводах чорної металургії складається з трьох послідовних стадій:

- переробка залізної руди на чавун (доменне виробництво);
- переділ чавуну в сталь (сталеплавильне виробництво);
- перетворення сталевих злитків в прокат різних профілів (прокатне виробництво).

7.1 ДОМЕННЕ ВИРОБНИЦТВО

Доменне виробництво – перша ланка технологічного циклу металургійного заводу, його мета – виплавка чавуну. Доменне виробництво складається з таких основних процесів: підготовка і подача шихти, плавка і видалення продуктів плавки.

Основними компонентами шихти для доменної плавки є залізні руди, що містять магнетит, гематит, лімоніт, сидерит; вторинні метали і відходи (металобрухт, мартенівські і зварювальні шлаки); розкиснювачі і флюси (марганцева руда, вапняк), паливо (кокс, природний газ).

Переробка бідних руд нерентабельна, тому однією з операцій їх підготовки перед доменною плавкою є *збагачення*. Крім того, компоненти шихти піддають контролю за крупністю. Крупні грудки руди відновлюються дуже повільно і знижують продуктивність доменної печі, дрібна і пилоподібна руда виноситься газовими потоками з печі. Тому крупні грудки дроблять до крупності 25-80 мм, а дріб'язок направляють на агломерацію або обкатування.

Виплавка чавуну – пірометалургійний процес, що відбувається в доменній печі при високих температурах (до 1900 °С) з використанням коксу.

Кокс при доменній плавці є не тільки паливом, але й реагентом, що безпосередньо бере участь в технологічному процесі. Якість коксу, що використовується, характеризується його теплотворною здатністю, вмістом сірки, зольністю, міцністю і твердістю при високих температурах. Крім коксу в доменному виробництві використовується природний газ, який характеризується більшою теплотворною здатністю, меншим вмістом шкідливих домішок (в т.ч. сірки) і меншою вартістю. Однак застосування природного газу в доменній печі обмежене.

Пониження температури плавлення пустої породи і полегшення відділення її від металу досягається застосуванням флюсів. В доменному виробництві флюсом частіше всього служить вапняк. При плавленні флюс утворює з пустою породою і золою коксу легкоплавкий рідкий шлак, який легко видаляється з доменної печі. Крім того, флюси сприяють відділенню шкідливих домішок від металу.

Головний агрегат доменного виробництва – доменна піч (рис. 7.1).

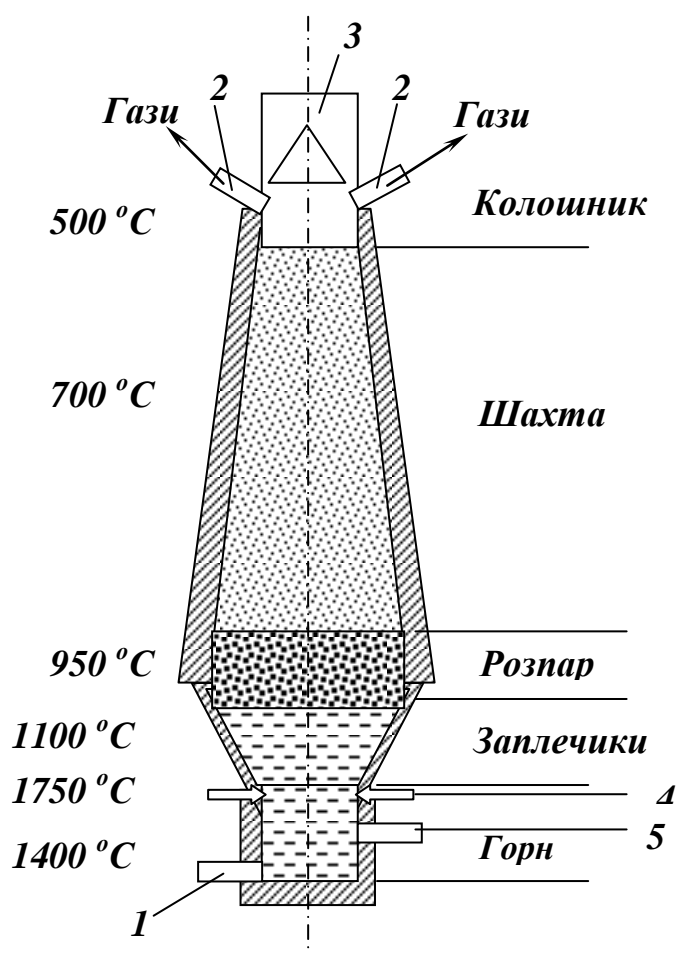


Рис 7.1 – Схема доменної печі.

- 1 – лійка для випуску чавуну;
- 2 – газовідведення;
- 3 – засипний агрегат;
- 4 – фурми;
- 5 – лійка для випуску шлаку.

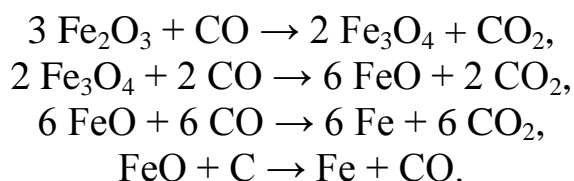
За будовою доменна піч – шахтна. Вона складається зі сталевого кожуха футерованого всередині вогнетривкою цеглою. Внутрішній обрис робочого простору печі являє собою поєднання циліндрів і зрізаних конусів. Верхня циліндрична частина – колошник, від неї йде найбільша частина – шахта, яка переходить у найбільш широку частину – розпар, нижче розташовані заплечики і горн. Такий профіль печі забезпечує плавне опускання шихти униз і добрий її контакт з пічними газами. У верхній частині горну розташовані фурми, через які при роботі печі вдувається нагріте повітря. На рівні поду (дна) горну є льотки для випуску чавуну, а вище на протилежному боці стороні – льотки для випуску шлаку. Завантаження шихти здійснюється через засипний агрегат, який перешкоджає виходу газів в атмосферу при завалці шихти. Вивід доменного газу в газоочисники виконується через два пристрої газовідведення. Очищений газ використовується для підігріву повітря до 800 – 1200 °С перед подачею його в доменну піч.

Доменна піч працює за принципом протитоку. При нормальному режимі роботи доменної печі (завантажена рудою, коксом, флюсами) в ній відбуваються такі процеси.

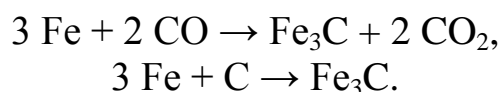
Під дією гарячого повітря, що вдувається в доменну піч, протікає згоряння коксу з утворенням двооксиду вуглецю (CO₂), який при контакті з розпеченим коксом при температурі 1800-1900 °С перетворюється в оксид вуглецю (CO):



Оксид вуглецю (CO) при проходженні через шар шихти відновлює залізо з рудних оксидів, також відновлення заліза відбувається при контакті руди з розпеченим коксом:



Залізо, що утворилося при відновленні руди, знаходиться в твердому стані у вигляді губчатої маси; при контакті з оксидом вуглецю і розпеченим коксом залізо насичується вуглецем з утворенням цементиту (Fe₃C):

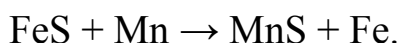


Внаслідок науглецювання температура плавлення заліза знижується, воно швидко переходить у рідкий стан і краплями стікає в горн доменної печі. При переміщенні капель металу відбувається додаткове насичення заліза вуглецем і вміст його в металі збільшується. Таким чином, в доменній печі неможливо одержати залізо без розчиненого в ньому вуглецю, а продуктом доменної плавки завжди буде залізовуглецевий сплав – чавун.

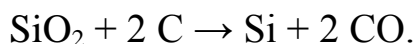
Паралельно в доменній печі відбувається відновлення оксидів, що містяться в шихті: марганцю, силіцію, фосфору (за схемою):



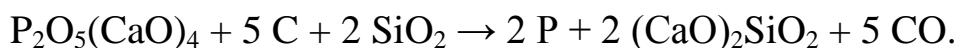
Відновлений марганець переходить в чавун сприяє хімічному сполученню заліза і вуглецю з утворенням цементиту (Fe_3C). Крім того, марганець має більшу спорідненість з сіркою і звільняє чавун від цієї шкідливої домішки:



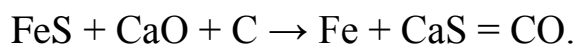
Утворений в результаті цього сульфід марганцю не розчиняється в залізі і легко переходить у шлак. Пуста порода, зола коксу, флюс обов'язково містять кремнезем (SiO_2), який під час плавки також відновлюється і переходить в чавун:



Наявність в чавуні силіцію перешкоджає утворенню цементиту, але сприяє виділенню вуглецю у вигляді графіту, що дає можливість одержувати чавуни, які добре піддаються механічній обробці. Фосфор (шкідлива домішка), що міститься в деяких рудах, також відновлюється вуглецем в присутності кремнезему і переходить до чавуну:



Невелика кількість сірки (шкідлива домішка), що міститься в залізній руді і коксі, при плавці вигорає, але основна частина переходить у чавун. Для видалення сірки необхідна висока температура і надлишок вільного вапна, яке зв'язує сірку в нерозчинний в залізі сульфід кальцію (CaS) і переводить її у шлак:



Крім описаних процесів в доменній печі відбувається плавлення пустої породи і шлакоутворення. Пуста порода і зола коксу складаються в основному з кремнезему (SiO_2) і глинозему (Al_2O_3), які мають високу температуру плавлення. Зниження температури плавлення і утворення рідкого шлаку досягається введенням в шихту флюсу – вапняку.

Після закінчення процесу плавлення чавун і шлак випускають з доменної печі, чавун – 6-8 раз за добу, шлак в два рази частіше.

Основний продукт доменного виробництва – чавун – сплав заліза з вуглецем і рядом інших елементів (Si, Mn, S, P). Вміст вуглецю в чавуні складає 2 – 6,5 %. За хімічним складом і призначенням розрізняють три сорти чавуну:

- *переробні чавуни* використовуються для подальшої переробки на сталь. В них підвищений вміст марганцю (0,6 – 2,5 %), вуглець знаходиться у вигляді цементиту, що надає йому високу твердість. Залежно від способу переробки такі чавуни розрізняють на *мартенівські* (виплавляються з шихти з підвищеним вмістом марганцю), *бесмерівські* (виплавляються з руд з малим вмістом сірки і фосфору), *томасівські* (виплавляються з руд з підвищеним вмістом фосфору);

- *ливарні чавуни* отримують з шихти зі значним вмістом кремнезему (до 4,25 %), що сприяє виділенню з них вуглецю у вигляді графіту і надає їм текучості і легкоплавкості. Вони добре заповнюють ливарні форми і добре піддаються механічній обробці;

- *спеціальні чавуни (феросплави)* застосовуються для розкиснення і легування сталей. Найбільше застосування знайшли *феросиліцій* (вміст силіцію більше 13 %), *феромарганець* (вміст марганцю до 75 %), *дзеркальний чавун* (вміст марганцю 10 – 25 %).

Крім чавуну при доменній плавці одержують:

- *шлак* являє собою сплав пустої породи, флюсу і золи коксу; використовується для виготовлення цементу, шлакоблоків, шлаковати і ін.;

- *доменний газ* містить 28 % CO і має теплотворну здатність 3,8 МДж/м³; використовується в мартенівських печах, повітрянагрівачах, котельних установках;

- *колошниковий пил* – дрібні частинки руди, що виносяться газами з печі. Колошниковий пил містить до 45 % заліза, тому він вловлюється і направляється на агломерацію.

7.2 СТАЛЕПЛАВИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Чавун – порівняно дешевий метал. Він має добрі ливарні властивості, легко обробляється різанням, але деякі його механічні властивості невисокі: він крихкий, погано зварюється, непластичний, не піддається обробці тиском (кування, штампування, прокатка). Все це обмежує застосування чавуну в промисловості і тому 90% його переробляється на сталь.

Процес переробки чавуну на сталь полягає у видаленні з нього домішок і перш за все вуглецю. Сталь – метал більш дорогий, ніж чавун, вона має добрі ливарні і зварювальні властивості, високу міцність, пластичність, легко обробляється тиском і різанням. Тому сталь є основним конструкційним матеріалом. Зменшення домішок в чавуні досягається окисненням їх киснем повітря або деякими оксидами, які легко віддають свій кисень елементам, що видаляються з розплавленого чавуну. Сполуки, що утворюються при окисненні домішок чавуну (шлак, гази), спливають і відділяються від металу. Оскільки температура плавлення сталі вища температури плавлення чавуну, то температура розплаву повинна бути підвищена до точки плавлення сталі. Без цього сталь буде насичена газом і включеннями шлаку. У сталеплавильний цех чавун може подаватися в твердому або рідкому стані. Застосування рідкого чавуну більш економічне і раціональне. Як вихідні матеріали при виробництві сталі до складу шихти крім чавуну входять металобрухт, скрап, залізна руда, феросплави, флюси. Різноманітність видів і якості шихтових матеріалів обумовлене необхідністю отримання металів різного призначення і з різними властивостями, що в свою чергу визначає різноманітність методів виробництва сталі. Існує три основних способи сталеплавильної переробки: *конверторний, мартенівський і електричний*. Але незалежно від способу переробки технологічний процес виробництва сталі складається з таких основних операцій: підготовка шихти, завантаження шихти в плавильний агрегат, плавка і розкиснення сталі, розливання сталі і вивантаження злитків.

7.2.1 Киснево-конверторний спосіб

Конверторний спосіб оснований на продувці розплавленого чавуну киснем, який окиснює домішки, які містяться в чавуні. Основний агрегат – кисневий конвертор, що являє собою стальну посудину грушоподібної форми, яка футерована вогнетривкою цеглою.

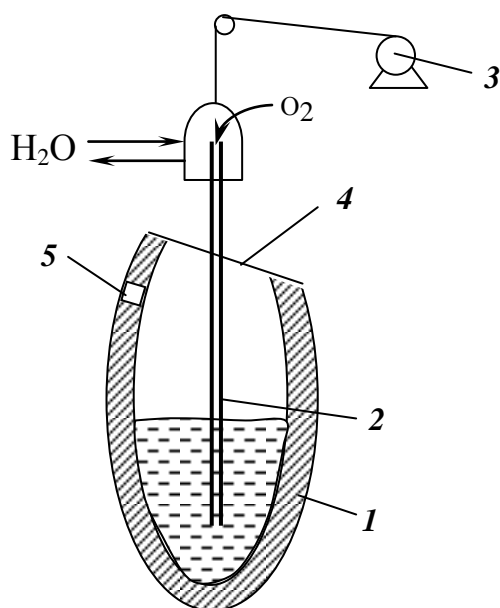
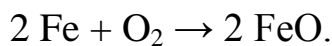


Рис. 7.2 – Кисневий конвертор.

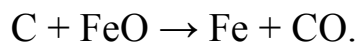
1 – конвертор; 2 – фурма;
3 – лебідка; 4 – горловина;
5 – льотка.

Конвертор спирається на дві цапфи, які підтримують його і дозволяють повертати навколо горизонтальної осі. Подача кисню під тиском 0,8 – 1,2 МПа здійснюється по фурмі, що охолоджується водою.

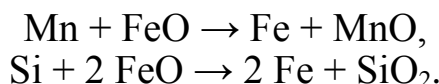
Перед початком процесу в конвертор завантажують залізну руду, стальний брухт, вапно і заливають рідкий чавун. В конвертор опускають фурму і починають продувку киснем. Кисневий струмінь при попаданні в рідкий чавун насамперед окиснює залізо з утворенням його закису (FeO):



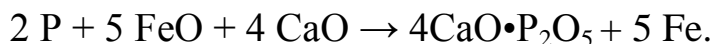
Закис заліза частково переходить у шлак, а частково розчиняється в рідкому металі, що сприяє окисненню інших складових чавуну: одні з них згорають і утворюють шлак, інші – видаляються у вигляді газів. Вигорання вуглецю починається з перших хвилин продувки:



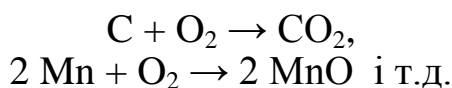
Водночас з ним окиснюються марганець і силіцій:



Для видалення фосфору в шлак його необхідно зв'язати з киснем в фосфорний ангідрид (P_2O_5). Ошлакування фосфору здійснюється доданням флюсу – вапна:

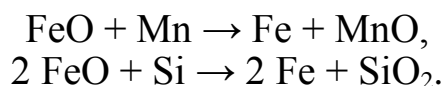


Крім того, у розплаві протікають реакції прямого відновлення заліза:



По мірі вигорання вуглецю й інших елементів утворюється надмірна кількість тепла, аж до руйнування футерівки конвертора, перегріву металу і, як наслідок цього, до підвищеного угару металу і погіршення якості сталі. Для охолодження розплаву в нього вводять охолоджуючі добавки: залізну руду, стальний брухт. Охолоджуюча дія залізної руди пов'язана з ендотермічним процесом відновлення заліза з руди при контакті з вуглецем чавуну. При додаванні брухту розплавлений метал охолоджується за рахунок його нагріву і розплавлення. Шлак, що накопичується, зливають у процесі плавки. При доведенні вмісту вуглецю до заданого дуття відключають і сталь виливають з конвертора в ківш. Однак закис заліза, що утворився при плавці і за-

лишився у сталі додає їй крихкості і знижує міцність. Щоб видалити цю шкідливу домішку сталь розкиснюють. У ківш зі сталлю вводять дрібні грудки розкиснювачів (феросиліцій, феромарганець, алюміній і ін.) – хімічних елементів, що більше активні до кисню (оксигену) ніж залізо. Розкиснювачі зв'язують в оксиди силіцій і марганець, що легко спливають в шлак, а сталь при цьому звільняється від розчиненого в ній кисню:



Після розкиснення сталь розливають по формах (виливницях), де вона застигає у вигляді злитків. В кисневих конверторах виплавляють вуглецеві і низьколеговані сталі. Киснево-конверторний спосіб – найбільш продуктивний (тривалість плавки – 50-60 хв.). Процес не потребує палива (використовується фізичне тепло рідкого чавуну і екзотермічних реакцій вигорання домішок). Але при цьому способі вихід готового металу порівняно невеликий (90-92 % від вихідного) і ним можна переробляти тільки невелику кількість металобрухту.

7.2.2 Мартенівський спосіб

Мартенівський спосіб з'явився в результаті необхідності переробки великої кількості металобрухту, масова переробка якого в конверторах неможлива. Ця проблема була вирішена шляхом створення полуменевої (мартенівської) печі. Понад 80 % всієї виплавленої сталі одержують мартенівським способом. Розповсюдженість способу пояснюється його універсальністю:

- плавку можна вести як на твердій, так і на рідкій шихті з будь-якими співвідношеннями металобрухту і чавуну;
- спосіб характеризується невисокими вимогами до якості сировини;
- процес плавки добре регулюється;
- вихід готової сталі високий;
- процес дозволяє виготовити сталь майже всього сортаменту.

Мартенівська піч (рис. 7.3) являє собою споруду з вогнетривкої цегли, яка стягнута рядом металічних балок, що утворюють зовнішній каркас. Робочий простір печі обмежений зверху склепінням, знизу – подом, спереду і ззаду – стінками, з боків – головками. Головки служать для подачі палива і повітря в робочий простір печі, а також для відводу продуктів згоряння з печі. Під має вигляд овальної чаші, в ньому відбувається процес плавки. Передня стінка має ряд завалочних вікон для завантаження шихтових матеріалів, а задня стінка – льотку для випуску металу.

Основні матеріали шихти для мартенівської плавки такі: чавун, скрап, металобрухт, розкиснювачі, легуючі добавки, залізна руда, вапняк і ін.

Підготовка шихти включає операції дроблення і різання негабаритного металобрухту і пакування дрібного; дроблення вапняку до 50-150 мм; сортування чушкового чавуну за марками, класами і категоріями. Крім чавуну в шихті використовують обрізки металу, брак лиття, металобрухт. Підготовлену шихту з додаванням розкиснювачів і легуючих добавок завантажують в піч. Після прогріву шихти (твердої її частини) в піч заливають чавун і починається процес плавки.

Однією з основних характеристик мартенівської печі є садка – маса металевої частини шихти, що завантажується в піч.

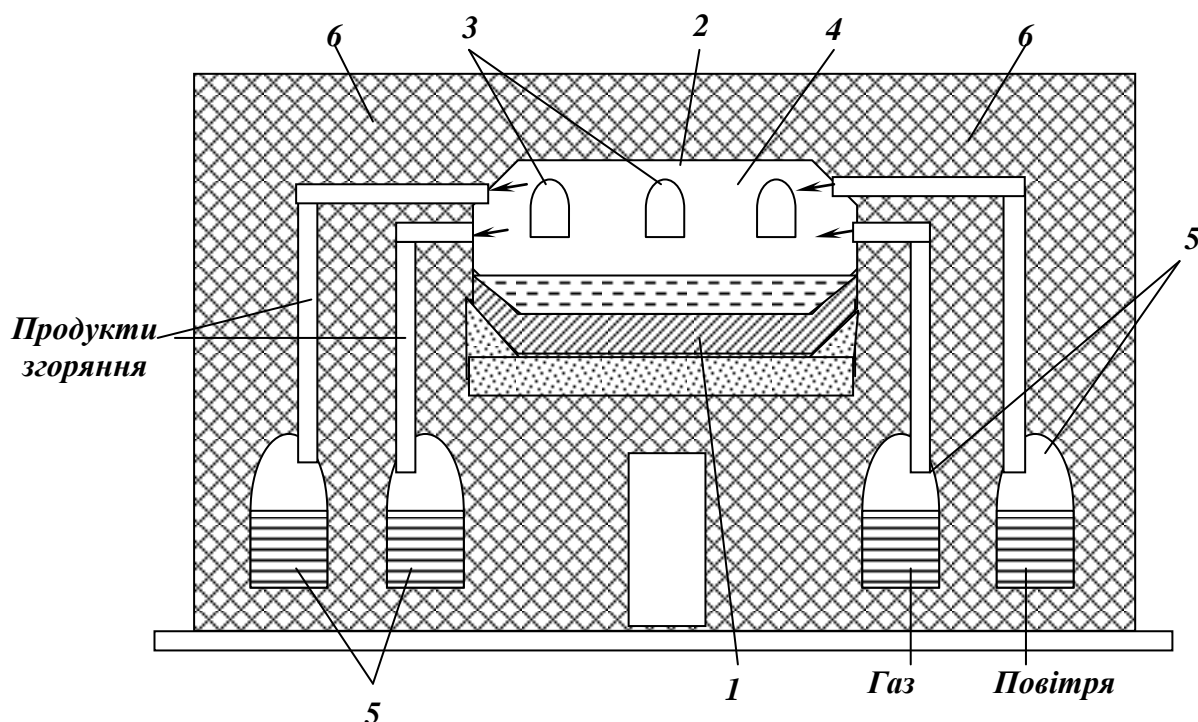
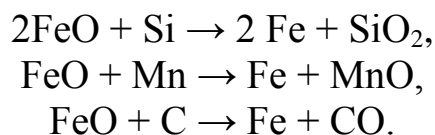


Рис. 7.3 – Схема мартенівської печі.

1 – під; 2 – склепіння; 3 – завантажувальні вікна;
4 – робочий простір; 5 – регенератори; 6 – головки.

В основі процесу мартенівської плавки лежать окисні процеси, в результаті яких з металічної шихти одержують рідку сталь заданого складу. На відміну від конверторів у мартенівських печах плавка йде за рахунок тепла полум'я, що утворюється при горінні в робочому просторі печі суміші доменного і коксового газів. Для утворення в печі високих температур (1800 – 1850 °С) і економії палива газ і повітря перед подачею в піч підігрівають теплом продуктів горіння в регенераторах до температури 1200 – 1300 °С. При попаданні в робочий простір печі газ стикається з повітрям і загоряється. Під дією цього тепла шихта нагрівається і плавиться. Водночас з розплавленням ме-

талу відбувається окиснення його основних компонентів. Основним окиснювачем є кисень повітря, який засмоктується в робочий простір печі з атмосфери. Залізо шихти при окисненні переходить у закис заліза (FeO), а домішки в відповідні оксиди – кремнезем (SiO₂), закис марганцю (MnO), оксид вуглецю (CO) і ін. Оксид вуглецю (CO) видаляється з димовими газами, а інші переходять в шлак, що накопичується на поверхні металу. Перемішування металу при виділенні бульбашок CO сприяє окисненню домішок. Коли метал покривається шаром шлаку, безпосереднє окиснення домішок киснем повітря стає неможливим і подальше окиснення протікає за рахунок закису заліза, що розчинений в металі. У готової сталі закис заліза (FeO) – шкідлива домішка, але під час плавки його присутність корисна, тому що він – єдине джерело кисню для вигорання домішок:



Додання в шихту флюсів (вапна або вапняку) сприяє видаленню з металу сірки і фосфору. В ряді випадків для розрідження шлаку вводять боксити і плавииковий шпат. Для інтенсивності плавки використовують кисень, що не тільки скорочує тривалість плавки, але й витрату палива. Інтенсивність окиснення можна підвищити завантаженням в піч залізної руди. Додання руди ефективно тому, що водночас з очищенням металу від домішок відбувається відновлення заліза з оксидів руди. Залізо, що утворилося, розчинюється в металі і підвищує вихід готової продукції. Сірка і фосфор, що знаходяться в руді, при плавці не видаляються, тому що їх сполуки P₂O₅ і FeS добре розчиняються в сталі. Для їх видалення в шихту вводять флюс – вапняк, який при нагріванні розкладається :



Вапно (CaO), що входить до складу шлаку, хімічно зв'язується з фосфором і переводить його в шлак [P₂O₅(CaO)₄]. При цьому частково видаляється й сірка.

Шлак, що утворився при плавці, зливають. Під час плавки беруть проби металу для визначення його хімічного складу і доведення цього складу до заданого. Коли метал доведений до заданого складу, в нього вводять розкиснювачі (в основному феросплави) щоб відібрати кисень у закису заліза, що залишився в металі. Після завантаження розкиснювачів сталь випускають з печі.

В мартенівських печах виплавляють в основному вуглецеві конструктивні сталі нормальної і підвищеної якості, а також ряд марок інструментальних і низьколегованих сталей.

7.2.3 Електрометалургія

Для одержання високоякісної сталі застосовують електроплавку. В електропечах в порівнянні з іншими печами можна мати більш високу температуру, що дозволяє при плавці використовувати більш сильнодіючий вапняковий шлак, який забезпечує практично повне видалення сірки і фосфору. Висока температура дає можливість розплавляти тугоплавкі елементи, а отже, виплавляти сталі спеціальних складів і властивостей. Робота електропечей не потребує подачі повітря, тому в робочому просторі печі можна утворити відновну атмосферу і навіть вакуум, що дозволяє одержати сталь з найменшим вмістом кисню, азоту, газів і шлаку.

В дугових електропечах (рис. 7.4) джерелом тепла є електродуга між електродами і металом шихти.

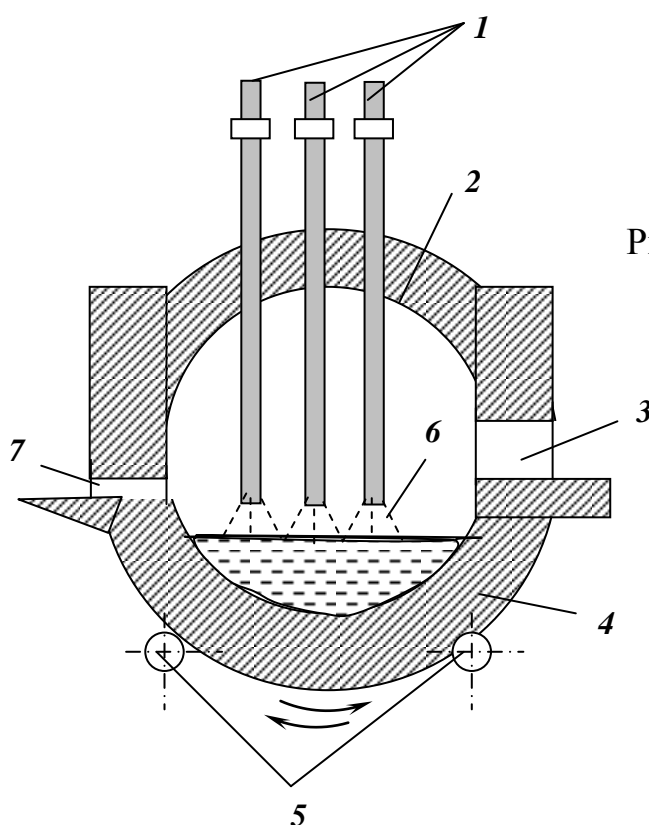


Рис. 7.4 – Схема електродугової печі.

- 1 – електроди;
- 2 – склепіння;
- 3 – завантажувальне вікно;
- 4 – корпус;
- 5 – механізм нахилу печі;
- 6 – електродуга;
- 7 – льотка.

Електродугова піч складається зі сталевого кожуха, який зсередини футерований вогнетривким матеріалом. У склепінні печі є отвори для трьох електродів (піч використовує трьохфазний струм). Електроди діаметром більше 550 мм бувають графітові або вугільні. Під печі – чашоподібний. В стінках печі є завантажувальне вікно і випускний

отвір із зливним жолобом. Спеціальний механізм дозволяє нахилити піч в бік льотки – для випуску металу, в бік завантажувального вікна – для випуску шлаку.

Витрата тепла на плавку значна, тому електропечі використовують не для переробки чавуну, а для переплавлення і рафінування сталі, яка складає основну частину металевої шихти. Сталь для плавки застосовується у вигляді злитків, спеціально відібраного і відсортованого скрапу і металобрухту. Чавун вводиться в шихту в невеликій кількості (10 – 15 %) для захисту металу від окиснення і як навуглецювальна речовина. Для плавки може бути використана також рідка шихта – розплавлена сталь з конвертора. Розкиснення домішок, що містяться в металі, здійснюється залізною рудою, а ошлакування сірки і фосфору – вапном (флюс).

Процес електроплавки складається з таких етапів: підготовка, завантаження і розплавлення шихти, кипіння, рафінування, розкиснення і розливка сталі.

Підготовка і завантаження шихти здійснюються так, як при мартенівському процесі. Після закінчення завантаження в електропіч твердої шихти електроди опускають до зіткнення з металом, вмикають струм і запалюють дугу, під дією високої температури якої шихта плавиться. Характерна особливість плавки – інтенсивне кипіння металу під дією кисню із залізної руди, атмосфери печі і повітря, що вдувається додатково. В процесі розплавлення і знеуглецювання шихти силіцій, марганець і фосфор окиснюються і переходять в шлак. Після закінчення окиснювального періоду, коли вміст вуглецю і домішок знижується до потрібної межі, шлак зливають і приступають до відновлювального періоду плавки (рафінування). На початку відновлювального періоду в електропіч вводять нові порції шлакоутворювальних речовин – вапна, плавикового шпату, подрібненого коксу (3 – 4 % від маси металу). Наявність сильнодіючого вапняного шлаку, що є добрим розкиснювачем і знесірчувачем, спричиняє зниження вмісту в сталі закису заліза і майже повне віддалення сірки. В кінці відновлювального періоду для того, щоб одержати сталь заданого складу, в піч вводять розкиснювачі і легуючі добавки (феромарганець, ферохром, феромолібден і ін.). Готову сталь випускають з печі і розливають у виливниці.

В електропечах виплавляють леговані високоякісні конструкційні сталі, більшість інструментальних сталей і сплави спеціального призначення.

7.3 ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО

Прокатка – заключний етап повного металургійного циклу. Вона основана на використанні ефекту пластичної деформації, яка полягає в зміні первісної форми і розмірів твердого тіла під дією прикладених до нього зовнішніх механічних сил.

Здатність до пластичної деформації у різних металів і сплавів неоднакова, вона залежить від хімічного складу, структури, температури, величини і напрямлення діючих сил. Для пластичної деформації необхідно, щоб навантаження, які прикладені до металу перевищували його межу текучості, але не досягали межі міцності. Якщо опір матеріалу руйнуванню вище межі його текучості на достатньо значну величину, то під дією навантаження він здатний деформуватися. Метали, у яких межа текучості близька до межі міцності (напр., чавун), не мають пластичності і не піддаються обробці тиском.

Процес прокатки полягає в пропусканні металу в гарячому або холодному стані між двома валками, що обертаються назустріч один одному (рис. 7.5). Силою тертя, що виникає між металом і валками, притиснутий до валків метал захоплюється і протягується між ними, при цьому метал деформується і здобуває необхідну форму. Мета прокатки – надання обробленому металу такої форми і товщини, які в подальшому дозволять використати метал з найбільшим ефектом. При прокатці змінюється внутрішня будова і поліпшуються механічні властивості металу.

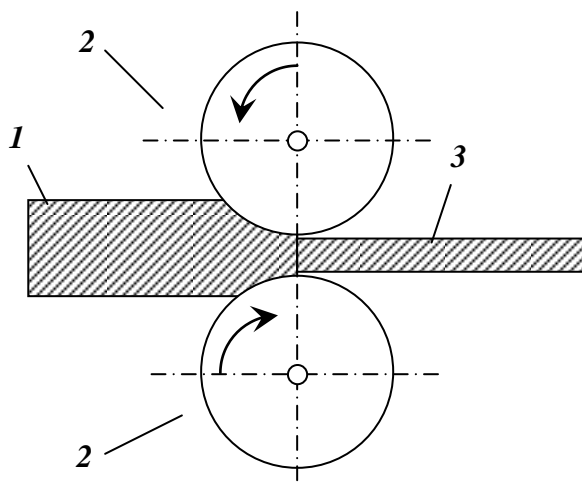


Рис. 7.5 – Схема процесу прокатки.

- 1 – заготовка;
- 2 – прокатні валки;
- 3 – прокат.

У листопрокатному виробництві нагріті зливки спочатку прокочують на міцних обтискних станах – *слябінгах*, які крім двох горизонтальних валків можуть мати й два вертикальних валка для обтиску бокових поверхонь металу, що прокочується. Робоча поверхня валків – гладень-

ка. Товщина прокату визначається зазором між валками. Обтиснутий на слябінгу зливоч перетворюється в плоский брусок прямокутного перетину – *сляб*. Така форма найзручніша для подальшої прокатки в лист (жерсть, автолист, броньова, трансформаторна сталь і ін.).

В сортопрокатному виробництві обтискні стани – *блюмінги*. На блюмінгу зливоч обтискується в брус з квадратним перетином – *блюм*, що призначений для подальшої переробки на фігурний прокат. Для придання блюму необхідного профілю в поверхнях валків, що стикаються робляться вирізи відповідної форми.

Продукція прокатного виробництва може являти собою закінчені вироби (напр., рейки), вироби, що потребують подальшої обробки (напр., балки, труби) і матеріали (листи, прутки).

Контрольні запитання

- 1. Яке призначення металургійного виробництва?*
- 2. Опишіть процеси підготовки до доменної плавки.*
- 3. Опишіть процес виплавки чавуну в доменній печі.*
- 4. Опишіть процеси підготовки до мартенівської плавки.*
- 5. Опишіть процес виплавки сталі в мартенівській печі.*
- 6. Опишіть процес виплавки сталі в кисневому конверторі.*
- 7. Опишіть процес виплавки сталі в електродуговій печі.*
- 8. Прокатне виробництво.*
- 9. Яку продукцію виробляє металургія?*

8. МАШИНОБУДУВАННЯ

Мета розділу: вивчення технології машинобудування.

Машинобудування – провідна галузь промисловості, яка створює один з важливих елементів продуктивних сил – знаряддя виробництва. В машинобудуванні і металообробці зосереджено близько 20 % основних фондів промисловості.

Машинобудування – система взаємозв’язаних галузей, які виробляють машини і обладнання, що дозволяє забезпечити технічне переозброєння всього господарства, споживчий попит населення на різноманітні апарати і прилади побутового призначення, створити економічний і оборонний потенціал держави. Машинобудування підрозділяється на декілька підгалузей:

- загальне машинобудування (промислове обладнання, станки, сільськогосподарські машини і ін.);
- транспортне машинобудування (автомобілі, літаки, кораблі, рухомий склад залізничного транспорту і ін.);
- електротехнічне і електронне машинобудування (всі види електрообладнання, різна електронна апаратура і ін.);
- військове машинобудування (військова техніка).

Щороку в машинобудуванні освоюється понад 2,5 тис. нових типів машин і обладнання, що забезпечує підвищення технічного рівня у всіх галузях господарства.

8.1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Виготовлення машини і її деталей починається з розробки технології їх виробництва. Технологічне проектування полягає в виборі найбільш економічного для даних конкретних умов способу виробництва заготовок і деталей, визначенні послідовності і виду операцій обробки і складання, виборі необхідного знаряддя виробництва і регламентації його використання, визначенні трудомісткості і вартості вибраного технологічного процесу. Технологічний процес повинен бути спроектованим так, щоб обладнання, інструменти, пристосування, сировина, виробничі площі використовувались найбільш повно і правильно при умовах комплексної механізації і автоматизації процесів виробництва, полегшення і безпеки праці.

Технологічний цикл машинобудівного заводу включає три стадії:

- виготовлення заготовок (розкрій, лиття, ковка, штампування і ін.);

- обробка заготовок (різання, нагрівання і ін.);
- складання (з'єднання болтові, зварні, клейові і ін.).

Технологічне проектування починають з розробки маршрутної технології, яка передбачає послідовність виконання основних робіт. Вибирають найбільш економічний спосіб виготовлення заготовок (лиття, ковка і ін.), встановлюють технологічний процес їх обробки (різання, термообробка і ін.), а потім і складання. Розроблений технологічний процес оформлюють рядом документів, в яких регламентовані всі основні положення, режими і показники прийнятої технології. Найважливіший документ – технологічна карта, що містить всі дані про технологію виготовлення певної деталі або виробу, повний опис процесу виробництва за кожною операцією із зазначенням необхідного обладнання, інструменту, пристосувань, режимів робіт, норм часу, кваліфікації і розряду робітника. Основним технічним документом виробництва є робоче креслення (детальне, вузлове, складальне), що дає інформацію про форму, розміри, матеріал деталі, види обробки і з'єднання деталей.

Різні етапи виробничого процесу на машинобудівному заводі здійснюються звичайно в окремих цехах: розкрійному, ливарному, пресовому, ковальському, механічному, термічному, складальному. Тому машинобудівний завод можна розглядувати як сукупність ряду виробництв, які зв'язані між собою єдиним технологічним процесом.

8.2 ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

8.2.1 Ливарне виробництво

Ливарне виробництво – процес виготовлення деталей з розплаву металів або інших матеріалів, які заливаються в пустотілу форму з обрисом пустоти, що відповідає формі деталі. Форми можуть бути разовими і постійними. Разові форми виготовляють з формувальної суміші, вони придатні тільки для однієї заливки; постійні – виготовляють з металу, вони придатні для великого числа відливок. Литтям виготовляють відливки різної конфігурації, розмірів і маси, вони можуть бути як готовими виробами, так і заготовками.

Лиття – один з основних способів виробництва заготовок в машинобудуванні, тому що дозволяє одержати відливок практично будь-якої форми і маси з необхідними фізико-механічними властивостями. Лиття часто не тільки простіший, але й економічніший за інші способи виробництва (литі деталі складають близько 50 % маси машини, а частина витрат на них 15 – 25 %).

Головною ознакою технологічного процесу лиття є метал відлив, залежно від якого відрізняють чавуно-, сталеве-, мідноливарне виробництво і ін.

Більшість литих деталей чавунні, вони мають невелику вартість і добрі ливарні якості, але недостатня міцність і крихкість чавуну обмежують застосування чавунних деталей.

Сталеве лиття використовують для більш відповідальних деталей, але за ливарними властивостями сталь поступається чавуну. Литі сталеві деталі мають великі внутрішні напруження, тому їх необхідно піддавати термічній обробці.

Кольорове лиття (сплави алюмінію, міді, цинку, магнію і ін.) завдяки особливим властивостям металів (антикорозійність, електропровідність, мала маса і ін.) використовується у приладобудуванні, виробництві машин і апаратів, в сантехніці і ін., але дефіцитність і висока вартість кольорових металів обумовлюють високу вартість кольорового лиття і обмежують його застосування.

Необхідний для заливки ливарних форм рідкий метал одержують в різних плавильних агрегатах. У чавуноливарних цехах основним плавильним агрегатом служить вагранка (рис 8.1).

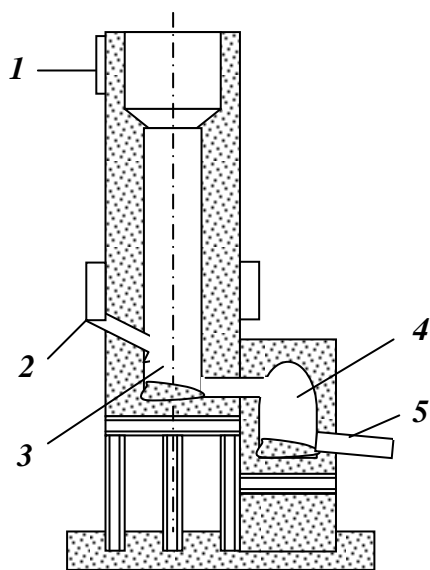


Рис. 8.1 – Схема вагранки.

- 1 – колошниковий отвір;
- 2 – фурми;
- 3 – горн;
- 4 – збиральник;
- 5 – льотка.

Вагранка – піч шахтного типу. Циліндричний корпус її футерований вогнетривкою цеглою. Повітря для горіння подається через фурми, що розташовані в один або декілька рядів. Завантаження вагранки шихтовими матеріалами (чушковий чавун, скрап, феросплави, флюс, паливо) здійснюється через колошниковий отвір. Розплавлений чавун стікає на під вагранки, а потім у збиральник, звідки його випускають через льотку в ківш. Шлак, що також надходить у збиральник і знаходиться над чавуном, випускають через іншу льотку, яка розташована вище чавунної.

У сталеливарних цехах плавильними агрегатами є мартенівські, електродугові та індукційні печі, іноді конвертори.

Плавку кольорових металів і їх сплавів виконують в дугових печах, електричних печах опору, полумєневих печах, іноді в тиглях.

Відливки можна виготовити різними способами. Найбільш розповсюджений спосіб – *лиття в разові земляні форми*, який складається з таких технологічних операцій: виготовлення моделі відливки; формовка деталі по моделі; заливка розплавленого металу в форму; очищення лиття. Виготовлення відливок в разових земляних формах – процес тривалий і трудомісткий, а отримані відливки не відрізняються точністю форми і розмірів, мають великі припуски і грубу поверхню. Все це поставило вимогу створення спеціальних видів лиття: кокільного, відцентрового, під тиском, по моделях, що виплавляються.

Кокільне лиття – спосіб отримання відливок в постійних чавунних або сталевих формах – *кокілях*. Звичайно кокіль складається з двох частин, які мають з'єднувану в горизонтальній або вертикальній площині. Металева форма має велику стійкість, що дозволяє за допомогою однієї форми виготовити декілька сотень відливок. Спосіб використовується для виготовлення відливок невеликої маси і простої конфігурації.

Лиття під тиском є різновидом кокільного лиття, але в цьому випадку метал у форму подається під тиском 1 – 5 МПа. Спосіб відрізняється високою точністю і застосовується для кольорового лиття.

При *відцентровому литті* метал розподіляється в формі під дією відцентрових сил, що виникають при швидкому обертанні форми. Спосіб дозволяє отримати тільки деталі, що мають форму тіл обертання.

Заготовки складних форм і невеликих габаритів одержують *литтям по моделях, що виплавляються*. Модель виготовляється з легкоплавкого матеріалу (віск, стеарин, парафін), заформовується і при заливці розплавленого металу витоплюється (при цьому утворюється порожнина відповідної конфігурації). Відсутність у форми площини роз'єму дозволяє одержати відливку точної форми без зсувів, перекосів і т.п.

8.2.2 Ковальсько-штампувальне виробництво

У машинобудуванні багато деталей виробляється обробкою тиском: куванням, штампуванням, пресуванням. Ці способи, як і прокатка, базуються на використанні пластичності металу – його здатності без руйнування змінювати форму під дією зовнішніх сил. Названі способи мо-

жна використовувати тільки для одержання деталей з матеріалів, що мають достатню пластичність (сталь, латунь, алюміній і ін.).

Кування – технологічний процес деформування нагрітого металу завдяки удару молота або тиску пресу. Вироби кування називаються *поковками*. При куванні водночас відбувається два процеси:

- при кожному ударі молота або тиску преса метал деформується, змінюється його форма і розміри, структура (зерна витягуються і подрібнюються, метал ущільнюється);
- під дією високої температури відбувається рекристалізація – утворення нових зерен, поліпшується структура і механічні властивості металу.

Процес кування починається з розділення металу на мірні заготовки (механічні ножиці, пили, газова різка і т.п.). Одержані заготовки піддають нагріву для підвищення пластичності металу і зниження опору деформації, що дозволяє використовувати кувальні агрегати меншої потужності. Основним обладнанням ковальсько-штампувального виробництва є молоти, преси і інші машини.

Молот – машина ударної дії, що деформує метал за рахунок енергії, яка накопичена в її падаючих частинах. Маса падаючих частин визначає потужність молоту. Пневматичний молот (рис. 8.2) приводиться в дію стисненим повітрям.

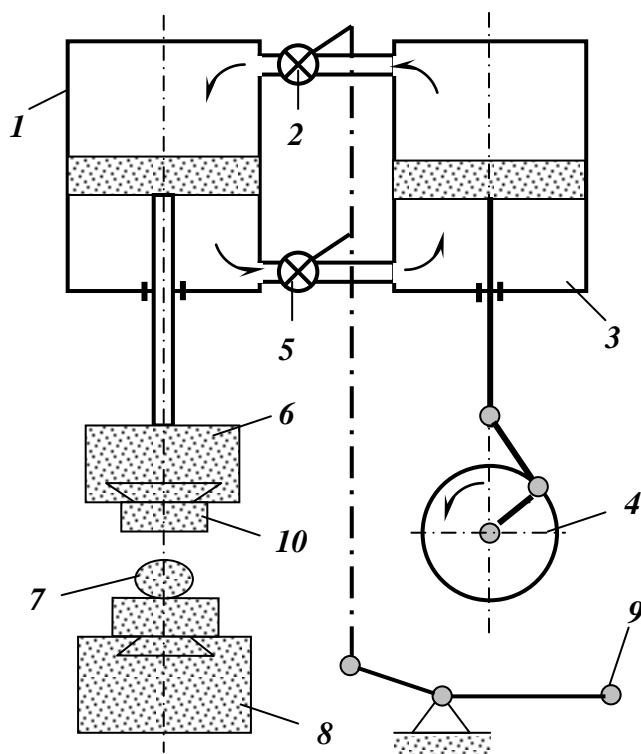


Рис. 8.2 – Схема пневмомолота.

- 1 – робочий циліндр;
- 2, 5 – крани;
- 3 – компресорний циліндр;
- 4 – кривошипно-шатунний механізм;
- 6 – баба;
- 7 – заготовка;
- 8 – шабот;
- 9 – рукоятка;
- 10 – бойок молота.

Молот має два циліндри – робочий і компресорний. Рух поршня компресорного циліндра здійснюється кривошипно-шатунним механізмом. При цьому стиснене повітря з компресорного циліндра через

крани подається в верхню або нижню частини робочого циліндра, що приводить до опускання або підняття його поршня. Рух поршня робочого циліндра через шток і бабу (важка ударна деталь молота) передається бойку молота, який ударяє по заготовці, що лежить на бойку шабота (ковадло). Управління кранами для розподілу повітря здійснюється рукояткою.

Преси на відміну від молотів діють на заготовку не ударом, а тиском, що передається на поковку з невеликими швидкостями. Навантаження на поковку зростає поступово, передається в глибину і охоплює весь об'єм металу, що приводить до одержання поковки з однорідною і дрібнозернистою структурою.

Більш довершеним процесом обробки металів в порівнянні з куванням і пресуванням є гаряче штампування.

Гарячим штампуванням називається процес одержання поковок за допомогою спеціальної оснастки – штампів (рис. 8.3). Молотовий штамп являє собою два сталевих бойка (*матриця* і *пуансон*), що мають в площині роз'їму виїмки, які відповідають конфігурації деталі.

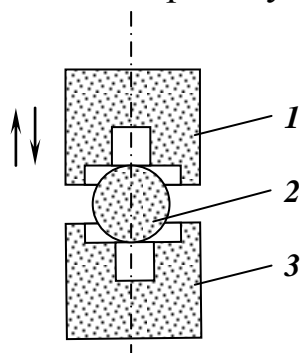


Рис. 8.3 – Схема штампа.
1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця.

Під дією сили удару молота або тиску преса нагріта заготовка деформується і заповнює порожнину штампа. В результаті штампування одержують деталь, що за формою і розмірами відповідає формі і розмірам штампу.

Холодне штампування здійснюється без попереднього підігріву металу. Найчастіше застосовують листове холодне штампування, матеріалом для якого служать тонкі листи (товщиною 5 – 6 мм), стрічки, прутки з м'якої вуглецевої і легованої сталі, кольорових металів і їх сплавів. Холодним штампуванням виготовляють як плоскі, так і вигнуті вироби (ковпаки, днища залізничних цистерн, деталі котлів і ін.).

8.2.3 Зварювальне виробництво

Зварювання металів – технологічний процес виготовлення нероз'ємних сполучень шляхом створення між кромками деталей, що поєднуються, металевого міцного зв'язку, який формується під дією теплоти, а іноді й тиску.

У машинобудуванні зварювання дозволяє замінити складне виробництво крупного лиття і поковок великої маси зварними деталями. Використовують багато способів зварювання, які за родом джерела тепла діляться на *дугове, контактне, газове, газоелектричне, електронно-променеве, дифузійне, плазменне, термічне* і ін. Залежно від ступеня нагріву поверхонь поєднання розрізняють *зварювання під тиском* (нагрів металу до пластичного стану і подальший стиск нагрітих поверхонь), *зварювання плавленням* (поверхні, що зварюються доводять до повного розплавлення).

Технологічний процес виробництва зварних виробів складається з операцій одержання заготовок і їх підготовки; власне зварювання; обробки виробів. Матеріалами для виготовлення зварних деталей і конструкцій служать: прокат (листи, балки, труби і ін.). відливки, поковки, деталі після механічної обробки. Зварена деталь звичайно складається з декількох частин. Залежно від взаємного розташування існують такі види зварних поєднань: *стикове, внахльстку, кутове, таврове* (рис. 8.4). Поєднання деталей здійснюється зварювальним швом, що являє собою місце сплавлення їх кромки.

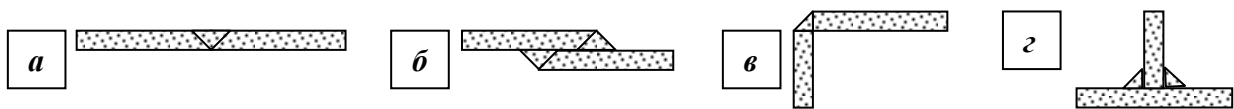


Рис. 8.4 – Види зварних поєднань.

а – стикове ; *б* –внахльстку; *в* – кутове; *г* – таврове.

Найбільш розповсюджене *дугове електрозварювання*, яке здійснюється за рахунок тепла, що виділяється електричною дугою. При електродуговому зварюванні електродами служать спеціальний стержень (так званий електрод) і об'єкт, що зварюється, які з'єднані з полюсами джерела струму (рис.8.5).

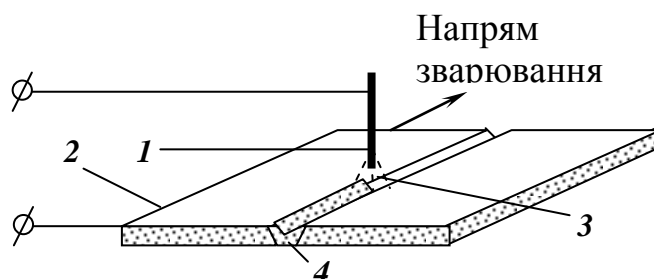


Рис. 8.5 – Схема

електродугового зварювання.

1 – електрод; 2 – об'єкт, що зварюється; 3 – електрична дуга; 4 – зварювальний шов.

Якщо електродом (стержнем) доторкнутися до поверхні металевого об'єкта, що зварюється, електричний ланцюг замкнеться і в ньому виникне електричний струм. При невеликому відриві

електрода від об'єкта, що зварюється, виникне електрична дуга – потужний потік електронів з температурою $3500 - 4000\text{ }^{\circ}\text{C}$, яка достатня для розплавлення металу і здійснення зварювання.

Спосіб *автоматичного електродугового зварювання під шаром флюсів* розроблено академіком Є.Патоном. При цьому способі подача електроду в зону зварювання і управління дугою здійснюється автоматично, а горіння дуги відбувається під шаром флюсу. Автоматичне електродугове зварювання здійснюється на різних агрегатах, що включають джерело струму, зварювальну головку і пристрій для переміщення головки відносно деталі, яка зварюється (рис 8.6).

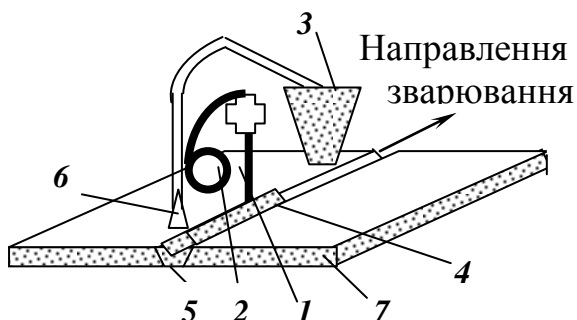


Рис. 8.5 – Схема автоматичного електродугового зварювання.

- 1 – зварювальний дріт;
- 2 – головка; 3 – бункер флюсу;
- 4 – зона зварювання;
- 5 – зварювальний шов; 6 – сопло;
- 7 – деталь.

Зварювання ведуть голим електродним дротом, що подається через головку, до якої підводиться електричний струм ($I = 1000 - 4000\text{ A}$, $N = 200\text{ кВт}$). Перед дугою між кромek деталей, що зварюються, з бункера подається флюс і дуга горить під ним. Флюс частково розплавляється і утворює шлак, який охороняє розплавлений метал від контакту з повітрям. Невикористаний залишок флюсу через сопло відсмоктується в бункер для повторного використання. Швидкість зварювання цим способом – 200 м/год .

Різновидом автоматичного зварювання є *зварювання в струмені захисних газів*, при якому зона зварювання ізолюється від дії повітря яким-небудь газом, напр., вуглекислим.

Другим різновидом електричного зварювання є *контактне зварювання*. Контактне зварювання здійснюється за рахунок тепла, що виділяється при проходженні електричного струму через місце зіткнення (контакту) деталей, що зварюються, і послідовного їх механічного здавлювання. В контактних зварювальних машинах забезпечується струм в десятки – сотні тисяч ампер при напрузі $1 - 15\text{ В}$. Розрізняють три види контактного зварювання:

– *стикове*, при якому до деталей, що зварюються, підводять сильний струм і, коли кромки деталей достатньо розігріються, струм вимикають і деталі сильно притискають;

– *точкове*, при якому деталі невеликої товщини, що зварюються внахлестку, міцно притискуються масивними електродами, по яких пропускають струм;

– *роликове* аналогічне точковому, але точкові електроди замінюють роликами.

При газовому зварюванні використовується тепло полум'я, що утворюється при спалюванні горючого газу в струмені технічного кисню. Частіше як горючий газ застосовують ацетилен C_2H_2 , що при згорянні в атмосфері кисню O_2 дає найбільш високу температуру – до $3150\text{ }^{\circ}C$. Крім того, використовують водень H_2 , природний і коксовий газ і пари гасу. Ацетилен для газового зварювання одержують розкладанням карбіду кальцію CaC_2 в ацетиленовому газогенераторі. Основним інструментом газового зварювання служить газовий пальник. Схема газозварювальної установки наведена на рис. 8.6.

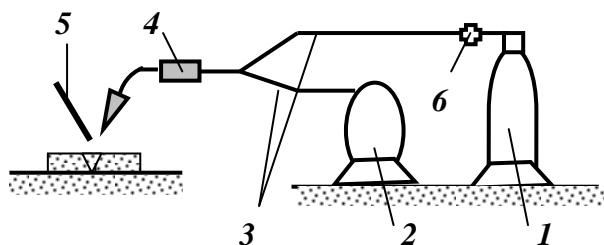


Рис. 8.6 – Схема газозварювальної установки.

1 – кисневий балон; 2 – ацетиленовий генератор; 3 – шланги; 4 – пальник; 5 – присадочний матеріал; 6 – редуктор.

Ацетилен і кисень надходять у пальник, змішуються і утворюють пальну (горючу) суміш. Пальна суміш на виході з наконечника пальника підпалюється і створює зварювальне полум'я, під дією якого кромки металу нагріваються і оплавляються. Для утворення зварювального шва в полум'я пальника вводять присадочний матеріал (пруток, дріт і т.п.). Газове зварювання використовується головним чином для поєднання тонких листів, деталей з кольорових металів, наплавлення твердих сплавів.

Газокисневе різання виконують звичайним газозварювальним обладнанням, але замість зварювального пальника застосовують газовий різак, що має наконечник особливої конструкції (рис. 8.7).

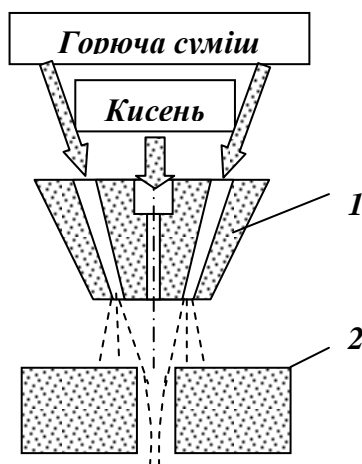


Рис.8.7 – Схема газового різання.

1 – наконечник пальника;
2 – метал, що різеться.

В наконечнику є два концентричних отвори: внутрішній – для подачі чистого кисню, другий кільцеподібний отвір – для подачі горючої ацетиленокисневої суміші. Полум'я нагріває метал до температури запалення. На метал направляють струмінь ріжучого кисню, спалюють метал, а продукти горіння видують в вигляді шлаку. Крім ацетилену для різання можна застосовувати природний газ, гас і деякі інші горючі матеріали.

До нових видів зварювання належать:

- *електронно-променеве*, що здійснюється міцним пучком електронів, який створюється електронною гарматою у вакуумній камері. При гальмуванні електронів на поверхні металу, що зварюється, їх кінетична енергія перетворюється в теплову, яка і витрачається на плавлення кромки металу;

- *дифузійне*, при якому деталі, що зварюються, нагрівають у вакуумній камері до заданої температури, притискають одна до одної і охолоджують. Відсутність окисної плівки дозволяє частинкам однієї деталі дифундувати в іншу притиснуту до неї. Цей спосіб зварювання дозволяє поєднати матеріали, які неможливо поєднати іншими способами (напр., метал і кераміку, срібло і титан і ін.);

- *плазмове* досягається стиском дуги шляхом пропускання її через сопло невеликого розміру, яке охолоджується аргоном. Таким чином, дуговий розряд протікає в обмеженому об'ємі, що приводить до сильного нагріву поверхонь, які зварюються.

8.3 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК

8.3.1 Обробка металу різанням

Способи обробки металів тиском і литтям, як правило, не дають необхідної точності розмірів і чистоти поверхні заготовок (виключення складають спеціальні види лиття і холодне штампування). Тому куванням, штампуванням і литтям в більшості випадків виготовляють заготовки (напівфабрикати), що потребують додаткової обробки. Остаточна обробка виконується різанням, яке полягає в знятті з поверхні заготовок визначеного шару металу, що залишається спеціально для цього. Шар металу, що знімається з металу, називається припуском на обробку. В результаті видалення припуску заготовка здобуває більш правильну форму, точні розміри і необхідну чистоту поверхні, тобто перетворюється в деталь.

Обробка різанням є складним і дорогим процесом, який відрізняється великою трудомісткістю і значними втратами металу (при масо-

вому виробництві зі стружкою втрачається 5 – 15 % металу, а при дрібносерійному і штучному – до 25 %).

Обробку різанням ділять на два різновиди:

- *різання зі зняттям стружки*;
- *різання без зняття стружки* (напр., різання металу ножицями).

Кожен з цих процесів може бути ручним (слюсарна обробка) і механічним (верстатна обробка).

Слюсарна обробка низькопродуктивна і застосовується тільки для підгонки деталей при складанні і ремонті. Основним видом обробки на машинобудівних заводах є верстатна обробка, що виконується на металорізальних верстатах. При обробці заготовок в механічних цехах технологічний процес розділяється на окремі операції, що виконуються на різних верстатах із застосуванням різноманітних різальних інструментів і пристосувань. Щоб виконати обробку поверхні заготовки і одержати деталь заданої форми, необхідно закріпити заготовку і різальний інструмент та переміщувати їх в процесі обробки один відносно одного. При цьому на верстаті повинно виконуватись два рухи:

- *головний рух різання*, при якому лезо інструменту вривається в метал і відділяє від нього стружку;
- *рух різання* необхідний для підводу під лезо нових шарів металу.

8.3.2 Металорізальні верстати

Машини, що призначені для механічної обробки металів різанням, називаються *металорізальними верстатами*. У машинобудуванні використовуються верстати різної конструкції і призначення. Залежно від виду обробки, що визначається схемою різання і типом застосованого інструменту, верстати ділять на токарні, свердлильні, стругальні, фрезерні, протяжні і шліфувальні.

Токарною обробкою або *точінням* називається спосіб отримання деталей циліндричної форми різанням.

Більшість деталей машин і механізмів є тілами обертання (вали, осі і т.п.), тому точіння є одним з основних способів механічної обробки. При точінні на токарному верстаті (рис. 8.8) заготовка обертається (рух різання) назустріч різцю, який переміщується в горизонтальній площині в подовжньому і поперечному напрямках (рух подачі). Для досягнення високопродуктивних режимів різання необхідно щоб матеріал різального інструменту мав велику твердість, зносо- і теплостійкість, малу крихкість і достатню механічну міцність. Матеріалом для виготовлення різців служать вуглецеві інструментальні сталі, леговані інструментальні сталі, металокераміка і металокерамічні сплави.

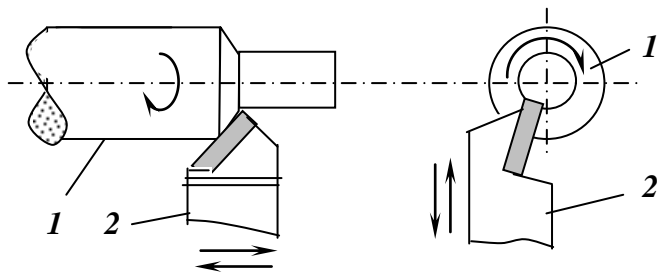


Рис. 8.8 – Схема токарної обробки.

1 – заготовка; 2 – різець.

Токарна обробка включає обточування зовнішніх поверхонь різної форми (циліндричних, конічних, фасонних), розточування отворів, підрізання торців і уступів, відрізання і розрізання металу, нарізання зовнішньої і внутрішньої різьби.

Свердління – один зі способів утворення в заготовках і деталях наскрізних і глухих отворів за допомогою *свердла*. Свердління виконують спіральними свердлами з високоякісної сталі, а також свердлами з різальними кромками із твердих сплавів. При роботі свердлувального верстату *свердло* закріплюється в *шпинделі* станка і робить водночас обертальний рух різання і поступальний рух подачі. Деталь при цьому нерухома (рис. 8.9).

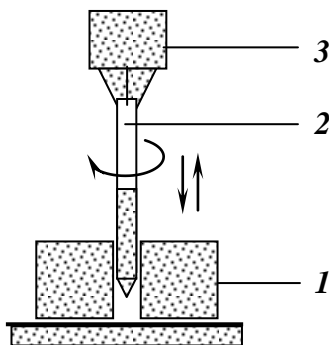


Рис.8.9 – Схема свердління.

1 – заготовка; 2 – свердло;

3 – шпиндель з патроном.

Крім свердлення отворів часто доводиться збільшувати діаметр вже існуючих отворів, що здійснюється *розсвердлюванням* (при діаметрах отворів до 80 мм) і *розточуванням* (при діаметрах отворів більше 80 мм). Розточування здійснюється на розточувальних верстатах (рис. 8.10).

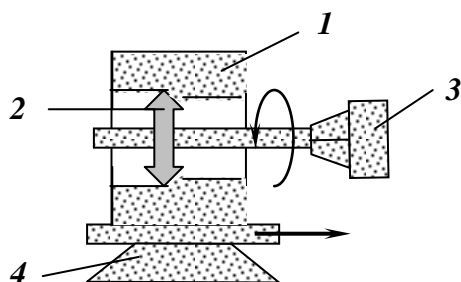


Рис.8.10 – Схема розточування.

- деталь; 2 – різець;

3 – шпиндель з патроном;

4 – стіл верстату.

Деталь закріплюється на столі верстату, який переміщується по направляючим (рух подачі). Різці розміщуються на шпинделі, який проходить через деталь (рух обертання). Розточувальні верстати бувають горизонтальні і вертикальні.

Процес обробки плоских поверхонь різцями, що здійснюють зворотно-поступальний рух, називається *струганням*. Стругання процес переривчастий, тому що різець робить поперемінно робочий і холостий хід (рис. 8.11).

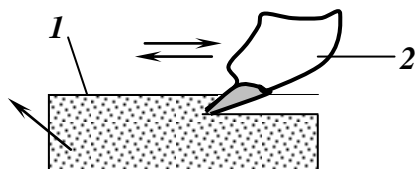


Рис.8.11 – Схема стругання.

1 – деталь; 2 – різець.

Стругання виконується на стругальних верстатах різної конструкції. На поперечно-стругальних верстатах головний рух (рух різання) робить різець, а рух подачі – заготовка. На подовжно-стругальних верстатах, навпаки, рух різання робить заготовка, а різець – рух подачі.

Стругання використовують для обробки поверхонь плит, рам, станин, кромek листів, виїмки канавок, пазів і т.д.

Протягування – операція механічної обробки, в якій використовується багатолезовий інструмент – протяжка, що являє собою стержень з різальними зубцями на поверхні.

В повзуні горизонтально-протяжного верстату закріплюється протяжка, яка пропущена через отвір деталі, що обертається (рис. 8.12).

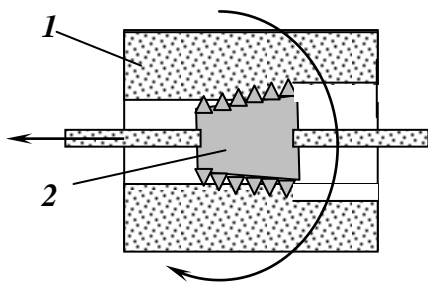


Рис.8.12 – Схема протягування.

1 – деталь; 2 – протяжка.

Протяжка за допомогою повзуна переміщується поступально, при цьому метал знімається малими шарами кожним зубцем протяжки. Висота зубців протяжки поступово збільшується і діаметр отвору розточується.

Протягуванням можна обробляти внутрішні і зовнішні поверхні з використанням протяжок різного профілю.

Фрезерування – спосіб обробки різанням за допомогою багатолезового інструмента – фрези. Фрезерування – один з найбільш продуктивних і розповсюджених видів механічної обробки площин, фасонних по-

верхонь, канавок, пазів. Фрези мають вигляд диска, циліндра або іншого тіла обертання, що обладнане зубцями – різцями (рис. 8.13).

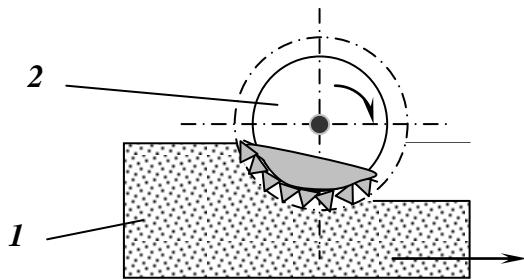


Рис.8.13 – Схема фрезерування.
1 – деталь; 2 – фреза.

При обертанні фреза врізається зубцями (рух різання) в заготовку, що насувається (рух подачі) на фрезу, яка знімає з поверхні заготовки кожним зубцем шар металу.

Шліфування – процес різанням за допомогою абразивних матеріалів (алмаз, корунд, наждак, карбід бору і ін.). При шліфуванні гострі кромки граней зерен зрізають з поверхні тонкий шар металу (0,05 – 0,005 мм). Мала товщина стружки і високі швидкості різання обумовлюють застосування шліфування як способу остаточної обробки, коли необхідно забезпечити високу точність і чистоту поверхні деталі, що оброблюється. При обертанні абразивний шліфувальний круг зрізає шар металу (рух різання) з деталі, що переміщується (рух подачі) відносно круга в подовжньому і поперечному напрямках (рис. 8.14).

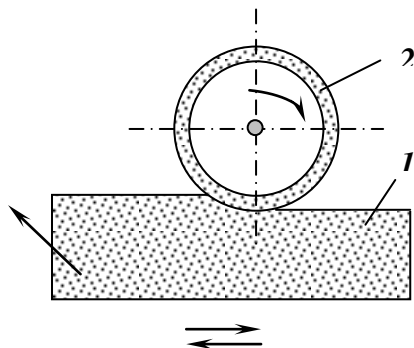


Рис.8.14 – Схема шліфування.
1 – деталь; 2 – шліфувальний круг.

Інструмент, що застосовується при шліфуванні, буває двох типів:

- жорсткий – штучні камені, що виготовлені з зерен абразивного матеріалу, зцементованого якою-небудь зв'язуючою речовиною (круги, бруски, головки і ін.) ;

- еластичний – м'які круги з фетру, повсті, шкіри, бавовняної тканини, на робочу поверхню яких наносять спеціальні порошки і пасти.

Внаслідок високої твердості абразивних матеріалів шліфуванням можна обробляти не тільки звичайні, але й тверді матеріали – загартовану сталь, металокерамічні сплави і ін. Тому шліфування можна застосовувати для заточення інструменту, доведення штамів, тонкого шліфування деталей після термічної обробки.

8.4 СКЛАДАННЯ МАШИН

8.4.1 Сутність складання

Остаточною продукцією машинобудівного заводу є машина, що складена з окремих частин. Технологічний процес поєднання, координування і фіксації деталей у вузли, а вузлів у машину називається *складанням*. В результаті складання досягається необхідне взаємне розташування деталей, що поєднуються, відносна рухомість або нерухомість елементів, що сполучаються, і міцність конструкції.

Будь яка машина складається з окремих частин, з яких найпростішою є *деталь* (елемент), що не має ніяких з'єднань. Сукупність декількох деталей, що з'єднані і скріплені між собою і представляють самостійну частину машини, називається *вузлом*. Залежно від конструкції і числа деталей у вузлі вони можуть бути різної складності.

Деталь або вузол, з якого починається складання, називається базовою деталлю або базовою групою. Базова деталь визначає положення всіх інших складальних одиниць. Щоб полегшити процеси складання, використовують технологічні схеми складання, на яких умовно зображена послідовність процесу.

8.4.2 Види поєднань

Для правильної взаємодії деталей в машині необхідно, щоб їх сполучення мало визначений характер. Одні деталі повинні вільно переміщуватись відносно інших, другі – в роботі не повинні переміщуватись, але повинні збиратися і розбиратися, треті – після складання повинні залишатися протягом всього часу експлуатації нерухомими. Залежно від цих умов поєднання складових одиниць здійснюється різно. З'єднання деталей в машині підрозділяються на:

- *нерозбірні* – виконуються зварюванням, клепанням, паянням і т.п.;
- *розбірні* – виконуються за допомогою кріпильних деталей (болти, гайки, шпонки, гвинти, шурупи і т.п.) або посадок. При необхідності такі поєднання можна розібрати без порушення їх складових;
- *рухомі* – дозволяють взаємне переміщення сполучених частин машини;
- *нерухомі* – після складання взаємне положення елементів повинно залишатись незмінним.

Характер сполучення двох деталей, що входять одна в одну, називається *посадкою*. Розрізняють такі посадки:

- *гаряча* – застосовується для поєднання деталей, що в процесі експлуатації не розбираються;
- *пресова і легкопресова* – виконуються під дією пресів і додаткового кріплення шпонками, штифтами, шпильками;
- *туга, напружена і щільна* – застосовуються для сполучення деталей, які в процесі експлуатації доводиться розбирати, демонтувати. Посадки забезпечують добре центрування з використанням шпонок, штифтів;
- *рухомі* – визначаються характером руху поєднаних деталей і швидкістю їх руху.

8.4.3 Види і способи складання машин

Залежно від конструктивних особливостей машини, трудомісткості і масштабів виробництва технологічний процес складання можна здійснити різними способами. Складання буває:

- *стаціонарним*, при якому об'єкт, що складається, на протязі всього процесу складання залишається на одному робочому місті (застосовується при виготовленні унікальних і важких великогабаритних машин);
- *рухомим*, при якому об'єкт, що складається, в процесі складання переміщується з одного робочого місця до іншого. Це переміщення може бути як безперервним, так і періодичним.

За організаційною ознакою складання ділиться на:

- *концентроване*, що передбачає виконання бригадою робітників всіх складальних робіт на одному робочому посту (стенді, столі і т.п.). У зв'язку з малим фронтом робіт, тривалість процесу при використанні цього методу більше, чим при інших. Тому спосіб концентрованого складання застосовують рідко, в основному при виготовленні одиничних виробів;
- *диференційоване*, що базується на розділенні процесу складання на ряд операцій, кожна з яких виконується на окремому робочому посту. Цей спосіб дозволяє працювати над всіма вузлами однієї машини водночас, що різко скорочує час складання машини. У свою чергу диференційоване складання може бути стаціонарним і рухомим.

Стаціонарний монтаж застосовується в важкому машинобудуванні, коли великі машини переміщувати в процесі монтажу недоцільно. В цьому випадку робітники переходять від одного об'єкту до іншого і виконують технологічні операції у визначеній послідовності.

Рухомий монтаж передбачає переміщення об'єкту складання від поста до поста по мірі виконання складальних робіт. На кожному посту виконується визначена операція. В умовах крупносерійного і масо-

вого виробництва найбільшу ефективність дає рухоме диференційоване складання, що організоване за поточним способом, який характеризується безперервністю, розділенням процесу на простіші операції, спеціалізацією обладнання, інструменту, пристосувань і засобів транспорту.

Таким чином, створюється *машина*, що являє собою сполучення механізмів, які виконують доцільний рух, що необхідний для виконання корисної роботи або для перетворення енергії.

Машина відповідає своєму призначенню тільки в тому випадку, якщо вона характеризується такими необхідними якостями:

- *продуктивність* – чим вона вища, тим нижча собівартість продукції;

- *економічність* – машина повинна мати великий коефіцієнт корисної дії, займати меншу площу, витратити менше енергії, палива;

- *експлуатаційна надійність* – здатність машини до тривалої безвідмовної роботи при мінімальних ремонтних витратах;

- *довговічність* – здатність машини і її вузлів протистояти впливу старіння, зносу, корозії і т.п.;

- *технологічність конструкції* – ступінь відповідності конструкції машини оптимальним умовам виробництва при заданому масштабі випуску продукції;

- *вартість* – залежить від маси машини, чим вона менше, тим більше економія металу і тим нижче вартість машини.

І насамперед машина повинна повністю відповідати вимогам і нормам конструкторської документації, технічних умов і стандартів.

Контрольні запитання

1. *Опишіть послідовність технологічних процесів машинобудування.*

2. *Які процеси використовують для виготовлення заготовок?*

3. *Опишіть ливарне виробництво, різновиди лиття.*

4. *Опишіть виготовлення поковок.*

5. *Опишіть гаряче і холодне штампування.*

6. *Опишіть зварювання і різання металів.*

7. *Які бувають способи обробки заготовок?*

8. *Опишіть металорізальні верстати і інструмент.*

9. *Опишіть види поєднань деталей і вузлів.*

10. *Назвіть показники, яким повинні задовольняти вироби машинобудування.*

9. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС

Мета розділу: охарактеризувати паливно-енергетичний комплекс і енергетичний баланс України.

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) – сукупність галузей промисловості, що забезпечують країну паливом і електроенергією. ПЕК здійснює видобуток і збагачення різних видів паливних і енергетичних ресурсів – вугільних, нафтових, газових, торфових, гідравлічних, ядерних і т.п. Основними складовими частинами комплексу є електроенергетика, вугільна, нафтова, нафтопереробна і газова промисловість (рис. 9.1).

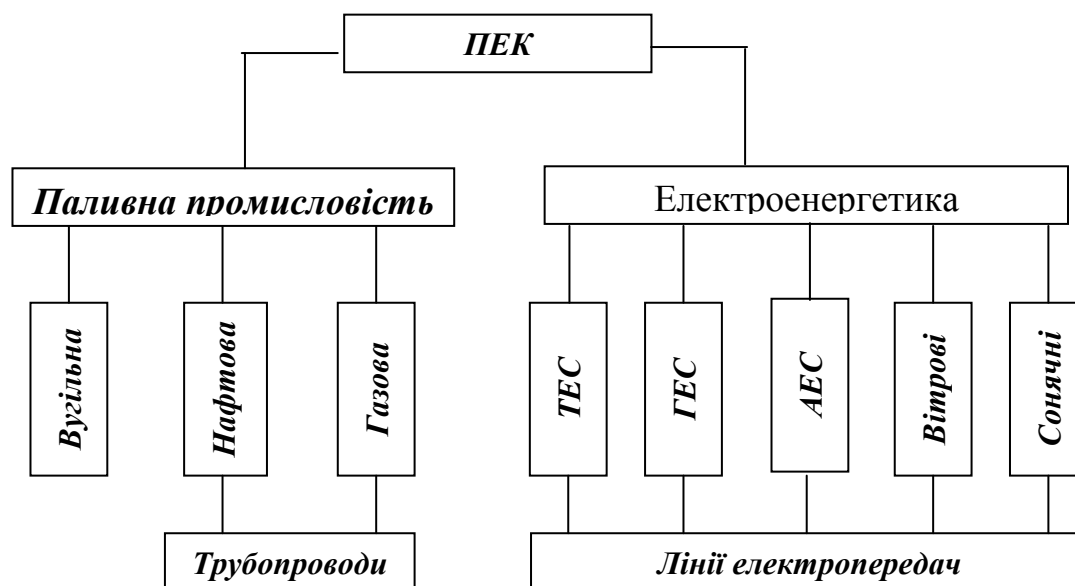


Рис. 9.1 – Структура ПЕК.

ПЕК України зорієнтований на вугілля, нафту, газ і ядерне паливо. Власні паливно-енергетичні ресурси України представлені головним чином кам'яним і бурим вугіллям Донецького, Львівсько-Волинського та Придніпровського басейнів. Україна володіє потужною енергетичною системою, що складається з теплоелектростанцій і теплоелектроцентралей, мережею атомних станцій і гідроелектростанцій.

9.1 ПАЛИВНА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Вугільна промисловість – базова галузь господарства, що здійснює розвідування й видобування кам'яного і бурого вугілля. Основний вугільний басейн України – Донецький. У Донецькому вугільному ба-

сейні зосереджено 92 % всіх кам'яновугільних запасів України, з них 44 % - коксівне вугілля і 56 % - енергетичне. Видобування вугілля здійснюється підземним (шахтним) способом на близько 160 шахтах. Але собівартість вугілля тут висока, тому що пласти малопотужні – 0,5 – 1,5 м, а глибина залягання – 600 м і більше.

Також значна частина вугілля залягає в Львівсько-Волинському кам'яновугільному і Дніпровському буровугільному басейнах. У Львівсько-Волинському басейні добувається енергетичне вугілля для потреб ТЕЦ. Собівартість видобування в цьому басейні нижча, ніж на Донбасі, так як глибина залягання тут не перевищує 300-500 м. У Дніпровському буровугільному басейні видобування здійснюється відкритим і підземним способами. В зв'язку з низькою якістю вугілля (високі вологість і зольність, низька теплотворна здатність) він використовується як паливо для ТЕЦ, а також для виробництва брикетів. Освоюються нові вугільні райони – Західний Донбас і Південний Донбас.

В складі вугільної промисловості діють близько 180 шахт і 3 кар'єрів, біля 60 збагачувальних фабрик, 3 шахтобудівних комбінати, 17 заводів вугільного машинобудування, 20 галузевих інститутів, гірничорятувальна служба і ін.

Вугільна промисловість постачає свою продукцію для потреб електроенергетики (майже 38 % від загального обсягу поставок), коксохімії (22 %), населення (11 %), комунально-побутових (3 %) та інших споживачів (26 %).

Нафтогазова промисловість – галузь важкої промисловості, підприємства якої розвідують, видобувають і переробляють нафту і газ, транспортують і зберігають їх. За запасами нафти та газу Україна посідає четверте місце в Європі, на її території розташовані три нафтогазових регіони: Західний (Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька, Закарпатська обл.), Східний (Полтавська, Сумська, Харківська, Чернігівська обл.) і Південний (Причорноморсько-Кримський). Експлуатується понад 4300 нафтових і газових свердловин. Потреби України за рахунок власного видобутку забезпечуються нафтою на 8 – 12 %, газом – на 20 – 22 %.

Нафтопереробна промисловість представлена шістьма заводами загальною потужністю первинної переробки 52 – 54 млн. т нафти на рік. Найпотужніші підприємства нафтопереробної промисловості України, що виробляють 50 видів нафтопродуктів, розташовані в Кременчуку, Лисичанську і Херсоні. Загальні номінальні потужності установок поглибленої переробки нафти (каталітичного крекінгу, коксування, термічного крекінгу, виробництва масел, бітумів) на всіх нафтопереробних заводах України становить 6,92 млн. т на рік, з них

каталітичного крекінгу – 3,68 млн. т на рік, що становить відповідно 13,5 і 7,2 5 загальних потужностей переробки сирової нафти. Основні поставки нафти – з Росії, Казахстану та вітчизняні. Загальна довжина магістральних газопроводів – 35 тис. км, нафтопроводів – 4 тис. км. Україна має 12 підземних сховищ газу, що за своїм об'ємом є найбільшими в Європі.

Наукове забезпечення нафтогазового комплексу в Україні здійснюють 17 науково-дослідних і проектних інститутів.

Газова промисловість – галузь паливної промисловості, підприємства якої займаються видобуванням природного і попутного (нафтового) газу з надр землі, виробництвом зрідженого газу, штучних горючих газів з твердого палива, зберіганням, транспортуванням газу по газопроводах для постачання населенню і промисловості. Газова промисловість України розвивається на базі родовищ Передкарпатської і Дніпровсько-Донецької нафтогазових областей та Причорноморсько-Кримської нафтогазоносною провінції.

Споживання газу в Україні становить 65 – 70 млрд. м³ на рік. Видобуток газу в Україні становить 18 млрд. м³ на рік, що забезпечує потреби країни на 22 %, решта задовольняється імпортом з Росії і Туркменістану. Розвідані власні запаси газу становлять близько 2 трлн. м³.

9.2 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

Рівень розвитку електроенергетики – один з важливіших показників науково-технічного прогресу. Обсяг виробництва електроенергії визначає економічний потенціал і економічний рівень розвитку країни.

Електроенергетика – основна галузь енергетики, що охоплює генерацію, передавання і використання електричної енергії.

Серед *первинних енергоресурсів* розрізняють ті, що не поновлюються (не відтворюються), і ті, що поновлюються (відтворюються).

До енергоресурсів, що не поновлюються, належать в першу чергу органічні види мінерального палива, які видобуваються з земних надр: нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, інші бітумінозні гірничі породи, торф. Вони використовуються в сучасному світовому господарстві особливо широко як паливно-енергетична сировина і тому їх нерідко називають традиційними енергоресурсами.

До енергоресурсів, що поновлюються (відтворюються і практично невичерпні), належить гідроенергія (гідрравлічна енергія рік), а також так звані нетрадиційні (альтернативні) джерела енергії: сонячна, вітрова, енергія внутрішнього тепла Землі (в тому числі геотермальна), теплова енергія океанів, енергія приливів і відливів.

Особливо повинна бути виділена ядерна або атомна енергія, яка належить до енергоресурсів, що не поновлюються, тому що її джерелом є радіоактивні руди (переважно уранові). Однак з часом, з поступовою заміною атомних електростанцій (АЕС), що працюють на теплових нейтронах, атомними електростанціями, що працюють на швидких нейтронах, а в майбутньому при використанні термоядерної енергії ресурси ядерної енергетики стануть практично невичерпними.

Електроенергію в Україні в основному виробляють теплові (ТЕС), гідравлічні (ГЕС) і атомні (АЕС) електростанції. Електростанції України виробляють близько 300 млрд. кВт електроенергії на рік.

Основну частину електроенергії (67 %) виробляють *теплові електростанції*, що працюють на вугіллі, газі і мазуті. Теплові електростанції бувають двох видів: *конденсаційні* – ТЕС (коли відпрацьований пар охолоджується, конденсується і знов повертається в котел) і *теплоелектроцентралі* – ТЕЦ (коли відпрацьований пар використовується для опалення). ТЕЦ звичайно будують у великих містах або поруч з ними. Великі ТЕС розташовані в Донбасі (Старобешівська, Кураховська, Криворізька-2), в Харківській (Змієвська), Київській (Трипільська), Вінницькій (Ладиженська) областях. Більшість ТЕС поряд з електроенергією виробляє й тепло для опалення міст. Але з роботою ТЕС пов'язано значне забруднення навколишнього середовища.

Друге місце за виробництвом електроенергії належить атомній енергетиці. *Атомні електростанції* будують в районах з дефіцитом палива. На території України працюють Рівненська, Хмельницька, Південноукраїнська, Запорізька АЕС. Вони виробляють до 29 % електроенергії країни.

В Україні на ріках Дніпро і Дністер побудовано багато *гідроелектростанцій*. Найбільші з них: ДніпроГЕС, Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька, Канівська, Київська, Дніпропетровська, Дністровська. Але на гідроенергетику припадає тільки 4 % від загального виробництва електроенергії. ГЕС в Україні побудовані на рівнинних ріках, тому перед їх греблями створені водосховища, під якими затоплені сільськогосподарські угіддя і населені пункти. Греблі перешкоджають міграції промислових риб, Але в той же час вода з водосховищ використовується для зрошення засушливих земель Півдня України і степового Криму. Крім того, греблі на Дніпрі зробили цю найбільшу водну артерію України судноплавною.

Всі електростанції України об'єднані в єдину енергосистему. Від електростанцій до споживачів електроенергія передається *лініями електропередач* (ЛЕП). Основна частина електроенергії використовується для промислових потреб, невелика – для комунальних потреб, а також за кордон (в Польщу і Угорщину).

Україна має можливості використання сонячної, вітрової і геотермальної енергії. В Криму побудована одна з перших *геліоелектричних станцій*, стали до ладу декілька *вітроелектростанцій* на Донбасі і в Криму.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть складові паливно-енергетичного комплексу.*
- 2. Яка роль вугілля в паливно-енергетичному комплексі України?*
- 3. Назвіть енергоресурси, що поновлюються і не поновлюються.*
- 4. Опишіть енергетичний баланс України.*

10. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Мета розділу: охарактеризувати джерела забруднення навколишнього середовища і заходи щодо поліпшення його стану.

10.1 ВПЛИВ ЛЮДИНИ НА ПРИРОДУ

В процесі своєї діяльності людина завжди впливала на природу. В сучасних умовах розвиток галузей промисловості, що пов'язані з добуванням і переробкою корисних копалин, а також енергетика і машинобудування є основою технічного прогресу. При добуванні корисних копалин людина проникає у надра Землі і тим змінює навколишнє середовище, втручається у природні процеси, що відбуваються на Землі. Сучасна техніка зробила людину такою могутньою, що природа в багатьох випадках поступається людині, яка навіть змінює ландшафт і рельєф поверхні планети.

Тільки у результаті гірничотехнічної діяльності в світі порушено не менше 15-20 млн. га земель, з них 59% площі використано під різні гірничі *виробки*, 38% – під *відвали* пустої *породи* або *відходів* збагачення, 3% – місця *осідання*, *провалів* і інш. порушень поверхні, пов'язаних з підземними розробками. Об'єм *відвалів* порід, що утворилися, і виробничих *відходів* складає понад 2000 км³. Для отримання *мінеральної сировини* і *палива* людство вимушене використовувати дедалі глибші шари *земної кори* (золоторудні *шахти* ПАР, напр., досягли позначок 3-4 км нижче земної поверхні; амплітуда висот між дном найглибших *кар'єрів* і поверхнею найвищих *відвалів* перевищує 1100 м). Гірничодобувні роботи супроводжуються штучним *водозниженням*. Тільки при видобутку *вугілля* з *шахт* і *розрізів* відкачується близько 15 км³ води на рік. Скидання *стічних вод*, що відкачуються, веде до забруднення поверхневих водних об'єктів різними *солями*, *нафтопродуктами* і важкими металами. *Зсуви гірських порід* на територіях, що підробляються, осідання поверхні, розсіювання *породи* з *відвалів* негативно впливають на стан земельних ресурсів. Значні надходження забруднюючих речовин відбуваються в зонах комунікацій і транспортних вузлів (90 т пилу на 1 км залізничного полотна на рік). При експлуатації *нафтопроводів* та *продуктопроводів* найбільшої шкоди *навколишньому середовищу* завдають аварійні витіки *нафти*, *суспензій* тощо.

Одна з найгостріших екологічних проблем, зумовлених посиленням техногенного впливу на природне середовище, пов'язана зі станом атмосфери повітря. Вона включає ряд аспектів. По-перше, охорона озонового шару, необхідна у зв'язку із зростанням забруднення атмосфери фреонами, оксидами азоту і інш. До середини ХХІ ст. це може привести, за оцінками, до зниження вмісту стратосферного озону на 15%.

По-друге, зростання концентрації CO_2 , що відбувається в основному за рахунок згоряння викопного палива, зменшення площ лісів, виснаження гумусового шару і *деградації ґрунтів*. До середини ХХІ ст. очікується подвоєння концентрації газу, що мала місце перед початком НТР. У результаті “парникового ефекту” до 30-х рр. ХХІ ст. може статися підвищення середньої температури приземного шару повітря на $3 \pm 1,5$ °С, причому максимальне потепління станеться в приполярних зонах, мінімальне – біля екватора. Очікується збільшення швидкості танення льодовиків і підняття рівня океану з темпом понад 0,5 см/рік.

По-третє, кислотні осаді стали істотними компонентами атмосфери. Вони випадають в країнах Європи, Півн. Америці, а також в р-нах найбільших агломерацій Азії і Латинської Америки. Головна причина кислотних опадів – надходження сполук сірки і азоту в атмосферу при спаленні викопного палива в стаціонарних установках і двигунах транспорту. Кислотні опади завдають шкоди будівлям, пам'ятникам і металічним конструкціям, викликають дигресію і загибель лісів, знижують урожай багатьох сільськогосподарських культур, погіршують *родючість ґрунтів*, що мають кислу реакцію, і стан водних екосистем.

Проблема виснаження водних ресурсів викликана зростанням споживання води промисловістю, сільським і комунальним господарствам, з одного боку, і забрудненням водних джерел – з іншого. Щорічно людством використовується в середньому до 6000 км^3 води, з них в сільському господарстві бл. 3400, промисловості 2200, на комунально-побутові потреби 400 км^3 . Забруднення багатьох водних об'єктів суші (особливо в країнах Зах. Європи і Півн. Америки) і вод Світового океану досягло небезпечного рівня. Щорічно в океан потрапляє (млн. т): 0,2-0,5 отрутохімікатів; 0,1 – хлорорганічних пестицидів; 5-11 – нафти і інш. вуглеводнів; 10 – хімічних добрив; 6 - фосфорних сполук; 0,004 – ртуті; 0,2 – свинцю; 0,0005 – кадмію; 0,38 – міді; 0,44 – марганцю; 0,37 – цинку; 1000 – твердих відходів; 6,5-50 –

твердого сміття; 6,4 – *пластмас*. У Півн. Атлантиці нафтова плівка займає 2-3% площі. Найбільш забруднені *нафтою* Північне і Карибське моря, Персидська затока, а також прилеглі до Африки і Америки ділянки, де здійснюється її перевезення танкерним флотом.

Одна з головних екологічних проблем пов'язана з погіршенням стану *земельних ресурсів*. За історичний час внаслідок вияву прискореної *ерозії*, *дефляції* і інш. негативних процесів людство втратило майже 2 млрд. га продуктивних земель. До утворення *пустель* схильна площа в 4,5 млрд. га, на якій проживає біля 850 млн. чол. *Пустелі* швидко розвиваються (до 5-7 млн. га на рік) в тропічних р-нах Африки, Азії і Америки, а також в субтропіках Мексики. Швидкість зникнення лісів складає 6-20 млн. га на рік.

Важлива для людства проблема – охорона *геологічного середовища*, тобто верхньої частини *літосфери*, яка розглядається як багатокомпонентна динамічна система, що перебуває під впливом інженерно-господарської діяльності людини і, в свою чергу, певною мірою визначає цю діяльність. Найголовніший компонент геологічного середовища – *гірські породи*, що містять нарівні з твердими мінеральними і органічними компонентами *гази*, *підземні води*. Особливо великий негативний вплив на *довкілля* здійснюють техногенні катастрофи, найбільша з яких у XX ст. – на Чорнобильській атомній електростанції – сталася в Україні.

Під охороною навколишнього середовища розуміють сукупність державних, адміністративних, правових, економічних, політичних і суспільних заходів, які спрямовані на збереження навколишнього природного середовища, а також раціональне використання, відтворення і збереження природних ресурсів землі. Охорона навколишнього середовища включає охорону атмосферного повітря, вод суші та вод Світового океану, земель, флори і фауни, геологічного середовища.

Практично охорона навколишнього середовища здійснюється на рівні підприємств, населених пунктів, регіонів, держав і глобально – в масштабах всієї планети. Велика робота ведеться під егідою ООН, з ініціативи якої в 1972 р. створена постійно діюча Програма ООН по довкіллю (ЮНЕП). У рамках ООН природоохоронні проблеми вирішують також: Всесвітня метеорологічна організація (ВМО), Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ), Міжнародна морська організація (ММО), Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ), Міжна-

родна комісія з навколишнього середовища і розвитку (МКНСР), ЮНЕСКО та інш. Велику увагу проблемам охорони навколишнього середовища приділяють Організація економічної співпраці і розвитку (ОЕСР), Європейське економічне співтовариство (ЄЕС), Організація американських держав (ОАД), Ліга арабських країн з питань освіти, культури і наук (АЛЕКСО). Генеральна Асамблея ООН у 1982 прийняла Всесвітню хартію природи, яка є розвитком Стокгольмської декларації про довкілля (1972) і Всесвітню стратегію охорони природи, розроблену МСОП (1980). В останні десятиліття ХХ ст. під егідою ООН розроблена Концепція сталого розвитку, яка передбачає глобальні (в просторі і часі) підходи до охорони навколишнього середовища. В Україні питання охорони навколишнього середовища перебувають у компетенції Міністерства екології і природних ресурсів.

10.2 ЗАХОДИ, ЩОДО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Один з важливіших факторів зменшення забруднення навколишнього середовища – удосконалення технології. Виробництво мусить бути безвідходним, а відходи стати корисною сировиною для інших галузей промисловості. Безвідходна технологія переробки корисних копалин передбачає такі аспекти цієї проблеми:

- комплексне використання корисних копалин;
- впровадження безстічної технології;
- утилізація відходів виробництва.

Комплексне використання корисних копалин – один з найважливіших напрямків розвитку гірничодобувної промисловості. Але вимоги до комплексного використання мінеральної сировини дуже складні, тому для їх вирішення необхідно застосовувати найбільш ефективні технологічні процеси. Рівень комплексного використання сировини може бути показником технічного розвитку галузі.

Використання оборотного водопостачання дозволяє скоротити споживання на технічні потреби свіжої води. Повний перехід на оборотне водопостачання в значній мірі запобігає забрудненню довкілля.

Одна з проблем переробки корисних копалин – раціональне використання відходів, складування яких пов'язане зі значними матеріальними витратами. Відходи гірництва можуть бути використані у промисловості будівельних матеріалів, добрив, керамічної і скляної

промисловості. Разом з цим вміст корисних компонентів у відходах повинен бути мінімально можливим.

Важливе значення для охорони навколишнього середовища має раціональне розміщення джерел забруднення (винесення промислових підприємств з великих міст, розміщення промислових підприємств з урахуванням рози вітрів і топографії місцевості, створення санітарних зон навколо підприємств) і очищення стоків промислових підприємств від шкідливих домішок.

10.3 ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Під очищенням стічних вод розуміють видалення з них забруднюючих домішок і знешкодження їх. Промисловість споживає на технологічні потреби значні об'єми води. Збільшення промисловістю об'єму водоспоживання автоматично спричиняє зростання об'єму стічних вод. З метою зниження об'ємів стічних вод підприємства повинні повністю перейти на оборотне водопостачання. Крім того, внаслідок посилення заходів, щодо охорони водних ресурсів, все актуальніше постає проблема очищення стічних вод.

Склад стічних вод промислових підприємств різноманітний і багатоконпонентний, у гірництві, наприклад, він залежить від мінерального складу корисної копалини і методу її переробки. Стічні води містять тверді мінеральні частинки і різні хімічні сполуки.

Сольовий склад промислових стоків можна характеризувати підвищеним вмістом сульфатів, хлоридів, карбонатів і інших хімічних речовин. В Правилах охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами вказано, що концентрація солей у воді водойм не повинна перевищувати 1000 мг/л по сухому залишку.

Очищення стічних вод проводять механічними, фізико-хімічними і біологічними методами. Найчастіше використовуються фізико-хімічні методи. У гірничій промисловості використовуються реагентні, сорбційні, електро-хімічні і інш. фізико-хімічні методи очищення. До реагентних методів відносять: нейтралізацію кислот і лугів, зв'язування йонів в малорозчинні сполуки. Сорбційні методи полягають у виділенні органічних і неорганічних забруднень на природних або синтетичних сорбентах, а також у використанні йон-селективних матеріалів. Електрохімічні методи: електродіаліз, електрохімічне окиснення і гідроліз, методи, пов'язані з впливом електричного струму на

водні розчини. Методи біологічного очищення застосовуються для обробки комунально-побутових стоків підприємств і в ряді інш. випадків. Зокрема біологічний метод використовується для очищення стоків збагачувальних фабрик з флотаційним циклом від ПАР. Як правило, біологічне очищення – завершальна стадія обробки стічних вод. Очищені води використовують для зрошування сільськогосподарських земель, у системах виробничого водопостачання тощо. Перед скиданням у водойму очищені води знезаражують.

Ефективним є спосіб очищення стічних вод озонуванням. Як показали промислові випробування на Зирянівській збагачувальній фабриці, застосування цього способу дозволяє також отримати додатково в рік 350 т продукту із вмістом *міді* 40%, *золота* 400 г/т, *срібла* 1500 г/т. Цей метод економічно вигідний не тільки через повернення корисних металів, впровадження його дозволить знизити вміст ціанідних сполук у 2 рази в порівнянні з нормами рибоохорони.

Видалення грубодисперсних частинок здійснюють в одну або дві стадії: в першу – виділяють на решітках і ситах найбільш крупні частинки, в другу (або одну стадію) – відстоюванням в полі гравітаційних сил і відцентрових сил видаляють тонкі частинки. Для збільшення швидкості осадження тонких частинок в стічні води додають коагулянти і флокулянти.

До хімічних методів очищення стоків відносять нейтралізацію і окиснення різних мінеральних сполук.

В стічних водах можуть бути присутніми мінеральні кислоти. Основний реагент, що застосовується для нейтралізації, кислих стічних вод – гашене вапно. Обробка стічних вод вапном приводить також до осадження з них катіонів кольорових металів.

Найбільш складна задача – очищення стоків від нафтопродуктів. Очищення стічних вод від нафтопродуктів здійснюється за складною схемою, яка передбачає уловлювання їх у нафтопастках, коагуляцію стоків сульфатом заліза і вапном, флотаційне очищення, фільтрування стічних вод крізь кварцові і сульфовугільні фільтри.

При наявності у стічних водах органічних речовин їх очищення виконують методами екстракції або адсорбції.

Адсорбцію застосовують для очищення стічних вод при концентрації органічних сполук менше 1 г/л. Звичайно адсорбенти – активоване вугілля, активований антрацит, коксовий і шлаковий дріб'язок – використовують в вигляді зерен неправильної форми розміром від 1,5

до 5 мм. При очищенні стічних вод їх пропускають через шар адсорбента. Після насичення адсорбента поглиненою речовиною його направляють на регенерацію, яка здійснюється екстракцією органічними розчинниками, відгоном водяним паром і випаром у струмині інертного газоподібного теплоносія.

Екстракція застосовується при концентрації органічних речовин у стічних водах понад 2 г/л. При подачі екстрагента в стічні води він розчинює органічні сполуки, що там знаходяться. Після розчинення органічних сполук їх концентрація в екстрагенті значно перевищує концентрацію в стічних водах. Екстрагент виділяють із стічних вод, з нього вилучаються органічні сполуки і він повторно використовується для очищення стічних вод. При очищенні стічних вод як екстрагенти застосовуються хлороформ, бензол, толуол та ін.

10.4 РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАЙНЯТИХ ВІДХОДАМИ

Рекультивация земель – це комплекс гірничо-технічних, інженерно-будівельних, меліоративних, сільськогосподарських, лісокультурних робіт, спрямованих на відновлення земель, порушених промисловим втручанням або приведених до непридатного стану внаслідок тривалого перебування під порідними відвалами, мулонакопичувачами тощо. Рекультивация є одним з основних засобів поліпшення умов навколишнього середовища.

Землі, використовувані для складування промислових відходів, займають значні площі і служать джерелом забруднення навколишнього середовища пилом і газами. Зменшення земельних площ, відчужуваних для складування відходів, досягається застосуванням різних схем обробки відходів.

Маса промислових відходів, що знаходяться у відвалах, обчислюється десятками мільйонів тонн. Відвали минулих років, які звичайно розташовані поблизу або усередині населених пунктів, є джерелами піло- і газоутворення, а також займають значні площі, що можуть бути використані під забудову.

Розрізняють такі напрямки рекультивации земель, зайнятих відходами: сільськогосподарський, лісогосподарський, водогосподарський, рекреаційний, будівельний, санітарно-гігієнічний.

Можливі наступні технологічні рішення по приведенню площ, займаних відвалами, у первозданний стан або під забудову:

- розробка відвалів з вивозом відходів для використання її як закладний матеріал або для заповнення вільних ємностей у кар'єрах;
- гасіння і перетворення териконів у плоскі відвали, озеленення і використання їх як вільних територій, позбавлених зон шкідливого впливу;
- планування породної маси на вільній площі або в межах відвалу;
- осушення, нанесення родючого ґрунтового шару і озеленення територій, зайнятих басейнами-сховищами.

Контрольні запитання

1. *Охарактеризуйте вплив діяльності людини на навколишнє середовище.*
2. *Які джерела забруднення навколишнього середовища?*
3. *Назвіть шкідливі складові породних відвалів і стічних вод.*
4. *Які заходи необхідно вживати для охорони навколишнього середовища і поліпшення його стану?*
5. *Назвіть заходи, щодо рекультивації земель, зайнятих відходами.*

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бедрань Н.Г. Обогащение углей: Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1988.- 206 с.
2. Бережний М.М., Мовчан В.П. Збагачення та окускування сировини. - Кривий Ріг, 2000. – 368 с.
3. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. 272 с.
4. Гірничий енциклопедичний словник: В 3 т./ Під ред. В.С. Білецького – Донецьк: Східний видавничий дім, 2001, 2002, 2004 рр.
5. Саранчук В.И., Ошовский В.В., Власов Г.А. Физико-химические основы переработки горючих ископаемых:/ДонГТУ, Східний видавничий дім, 2001. – 304 с.
6. Справочник по обогащению руд: В 4 т./ Гл. ред. О.С. Богданов. - М.: Недра, 1984.
7. Справочник по обогащению углей./ Под ред. И.С. Благова, А.М. Коткина, Л.С. Зарубина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1984.- 614 с.
8. Саранчук В.І., Ошовський В.В., Власов Г.О. Хімія і фізика горючих копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 204 с.
9. Мовчан В.П., Бережний М.М. Основи металургії. – Дніпропетровськ: Пороги, - 2001. – 334 с.
10. Яремійчук Р.С., Возний В.Р. Основи гірничого виробництва. – К.: Українська книга, - 2000. – 360 с.
11. Мала гірнича енциклопедія. т. 1/ Під ред. В.С. Білецького – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с.
12. Тютюнников Ю.Б., Шульга И.В., Филоненко Ю.Я. Концепции современного естествознания. Ч.II. Учебное пособие. – Липецк: Изд-во ЛЭГИ. – 1999. – 132 с.

Навчальне видання

**Смирнов Валерій Олександрович
Білецький Володимир Стефанович**

***ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ
ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА***

Редакція авторська

Комп'ютерна верстка
Коректор
Обкладинка

Г. Педик
Л. Гармидер
О. Мізько

Підп. до друку 1.06.05 Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографний. Ум. друк. арк. 8,6
Обл. - вид. арк. 7,2. Тираж 300 прим. Зам. 6-04.

Видавниче підприємство "Східний видавничий дім"
(Державне свідоцтво № ДК 697 від 30.11.2001)
83086, м. Донецьк, вул. Артема, 45
тел/факс (062) 338-06-97, 337-04-80
e-mail: ukcdb@uvika.dn.ua